

**Univerzita Karlova v Praze**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geologie

Studijní obor: Geochemie



Bc. Štěpánka Turnová

Léčivé radioaktivní minerální prameny v oblasti Skalná – Bad Brambach

Radioactive medicinal springs in the Skalná - Bad Brambach area

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Viktor Goliáš Ph.D.

Praha, 2019

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

Praha 11. 1. 2019

podpis: .....

## Poděkování

Mé největší poděkování patří mému školiteli Mgr. Viktoru Goliášovi, Ph.D. za trpělivé vedení mé diplomové práce, cenné rady, pomoc při terénním průzkumu a následnému vyhodnocování dat získaných v terénu.

Dále bych ráda poděkovala Mgr. Lence Hruškové za cenné rady, prof. Tomáši Fischerovi z PřF UK za poskytnutí materiálu týkající se zemětřesných rojů, Dr. Veronice Kopačkové za zpracování mapy fotolineací DPZ, Mgr. Petru Nakládalovi za změření geofyzikálních dat u pramene Břetislav.

Poděkování zaslouží též Dr. Frank Horna, pracovníku Saského úřadu pro životní prostředí, zemědělství a geologii v Drážďanech za poskytnutí GISových geologických vrstev německé části území.

Za poskytnutí důležitých informací, které posloužily k dohledání několika nových pramenů a jednoho vodárenského objektu, bych chtěla poděkovat místnímu znalci panu Jiřímu Břicháčkoví. Za doplnění informací ohledně skalenského vodovodu, pánům Karlu Brožovi a Václavu Vrbovi ze Skalné.

V neposlední řadě poděkování patří Lesům ČR, konkrétně panu ing. Jiřímu Illichmanovi za umožnění technických prací u pramenů na pozemcích Lesů ČR s.p., za umožnění přístupu do archivů také panu Miroslavu Brillovi z firmy CHEVAK a.s., pracovníkům SoKA Cheb a poděkování patří též pracovnícím z archivu DIAMO s.p. na šachtě č. 15 v Příbrami a pamětníkovi uranového průzkumu RNDr. Evženu Hnízdovi za pomoc v orientaci v archívních materiálech.

Za laskavé provedení v běžně veřejnosti nepřístupných prostorech Bad Brambach i poskytnutí dalších cenných informací o lázeňsky využitých pramenech děkuji Dr. Manuele Vossberg z Umweltbüro GmbH Vogtland.

Poděkování patří i všem, kteří se v současné době o prameny starají, o pramen Břetislav se stará Ekotým ZŠ Plesná, vedený Mgr. Alenou Jelínkovou a o pramen Pod Skalou pan Martin Šajner z Františkových Lázní.

Velký dík patří také pracovníkům Laboratoří geologických ústavů Dr. Věře Vonáskové, Lence Jílkové a Doc. Ladislavu Strnadovi za chemické analýzy vod.

Další poděkování patří všem, kteří se na terénním výzkumu podíleli, jmenovitě: Tomáši Černíkovi, Michalu Čurdovi, Pavlu a Tomáši Kohnovým, Ivu Hlásenskému, Martinu Fantovi, Jakubu Sochorovi, Michalu Vopatovi, Jakubu Horákovi Plášilovi, Petře Šťastné a mnoha dalším.



## Abstrakt

V letech 2016–2018 proběhl radiohydrogeochemický průzkum východní části smrčinského plutonu mezi Skalnou – Plesnou – Bad Brambach. Cílem tohoto průzkumu bylo vyhledávání a podrobný průzkum možného výskytu vod s objemovou aktivitou vyšší než 1500 Bq/l. Tato hodnota je dána lázeňským zákonem č. 164/2001 Sb., kdy vody nad 1500 Bq/l jsou již klasifikovány jako radioaktivní (radonové) minerální vody.

Nejvýznamnější oblasti je Plesná – jih, kde bylo objeveno několik pramenů přesahujících hodnotu 5000 Bq/l. Nejvýznamnější je pramen „Břetislav – Radonka“, který se nachází 1 km jihozápadně od nádraží Plesná, s aktivitou okolo 12,5 kBq/l  $^{222}\text{Rn}$  a průtokem okolo 2,5 l/min. Je to nejaktivnější povrchový vývěr radonové minerální vody na území ČR.

Další významná pramenní oblast je severně od Skalné. Tyto prameny objevila před téměř 60 lety Dr. Marie Zukriegelová. Hlavní pramen této oblasti byl pojmenován po jeho objeviteli - pramen „Marie Z“ při aktivitě 5800 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ .

Dále se výzkum zaměřil i na historický radioaktivní vodovod, který v minulém století přiváděl vodu do Skalné. V obou větvích tohoto vodovodu byly nalezeny významné přítoky radioaktivní vody. Nejvýznamnější je pramen „Pod skalou“ západně od Skalné, s nejvyšší naměřenou aktivitou 7950 Bq/l a průtokem okolo 1,5 l/min.

Všechny výše uvedené oblasti se nachází na smrčinském granitu, zejména na jeho muskovitické varietě. Klasty radonových vod byl nalezen také na terciéru a dosahoval hodnot až 3115 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ . Zkoumané kyselky měly obvykle nízké aktivity. Výjimkou je lázeňský zdroj Wettingquelle s aktivitou až 24 kBq/l  $^{222}\text{Rn}$  v Bad Brambach. Zvýšenou aktivitu má také zdroj Sauerling, a to až 867 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ .

Nejvýznamnější zdroje byly chemicky analyzovány. V případě studených, nízké mineralizovaných (CM 90 – 142 mg/l) radioaktivních vod jde o hydrochemický typ Ca-Na-SO<sub>4</sub>. Zkoumané kyselky mají složení pestřejší.

## Abstract

Radiohydrochemical exploration took place in east part of the „smrčinský” pluton between „Skalná-Plesná-Bad Brambach in years 2016-2018. The main aim of the exploration was location and thorough research of possible occurrence of waters with radioactive concretation higher than 1500 Bq/l. That is a value for radioactive mineral waters given by the “lázeňským” law number 164/2001 Sb.

Most important area is Plesná-south where was discovered several springs with values exceeding 5000 Bq/l. Eminent spring is called “Břetislav-Radonka” and lies one kilometre southwest from the train station Plesná-Šneky with an activity of about 12.5 kBq / l  $^{222}\text{Rn}$  and a flow rate of about 2.5 l / min. It is the most active surface discharge of radon mineral water in the Czech Republic

Another significant source area is north of Skalna - north. These springs were discovered almost 60 years ago, Dr. Marie Zukriegelová. The main source of this area was named after its discoverer - the "Marie Z" spring with an activity of 5800 Bq / l  $^{222}\text{Rn}$ . Further the research focused on historical radioactive conduit which were used to supply village Skalné with water. The conduit was separated on two “branches” and the younger one was built ten years after the first one. In both pipes were found radioactive waters and the most important spring is “Pod skalou” with measured activity value of 7950 Bq/l and a flow rate of about 1.5 l / min.

All the above-mentioned area located on Smrčiny granite, in particular the Muscovite manifold. The radon water cluster was also found on the tertiary and reached values of up to 3115 Bq / l  $^{222}\text{Rn}$ . Acidulous waters were generally low activity. An exception is the Wettingquelle spa source with an activity of up to 24 kBq / l  $^{222}\text{Rn}$  in Bad Brambach. The Sauerling source also has an increased activity, up to 867 Bq / l  $^{222}\text{Rn}$ .

The most important sources were chemically analyzed. In the case of cold, low mineralized (CM 90 - 142 mg / l) radioactive waters, this is a hydrochemical type of Ca-Na-SO<sub>4</sub>. The studied acidulous waters have a more varied composition.

## Obsah

1	Úvod a cíle práce .....	1
2	Radioaktivita, radionuklidy ve vodách, radonové vody a jejich využití v lázeňství .....	2
2.1	Radioaktivita .....	2
2.1.1	Umělá radioaktivita .....	3
2.2	Radionuklidy ve vodách .....	4
2.3	Radioaktivní terapie, radioaktivní lázeňství .....	4
3	Obecná charakteristika území .....	6
3.1	Geografie území .....	6
3.2	Geologie .....	6
3.2.1	Chebská pánev .....	6
3.2.2	Smrčinský masív .....	7
3.3	Hydrologie a podnebí zkoumané oblasti .....	10
3.4	Vulkanismus a tektonika .....	11
3.4.1	Současná seismologická měření .....	11
3.5	Vyhledávání uranu na zkoumaném území .....	12
4	Dosavadní poznatky .....	13
4.1	Hydrogeologická prozkoumanost chebské pánve a okolního krystalinika .....	13
4.2	Bad Brambach .....	14
4.3	Skalná .....	14
5	Metodika průzkumu .....	16
5.1	Příprava ploch v GIS .....	16
5.2	Terénní průzkum .....	16
5.3	Metodika vyhledávání pramenů v terénu .....	17
5.3.1	Indikační metoda měření gama aktivity .....	17
5.3.2	Terénní stanovení rozpuštěného CO <sub>2</sub> .....	18

5.3.3 Terénní gama spektrometrie.....	19
5.4 Metodika odběrů vzorků vod .....	19
5.5 Metody měření radonu na terénní základně .....	20
5.5.1 Emanometrie .....	20
5.5.2 LSC Triathler .....	20
5.5.3 Fyzikální parametry .....	21
5.6 Metodika měření vod v laboratoři.....	21
6 Výsledky.....	22
6.1 Popis významných lokalit .....	25
6.1.1 Plesná - jih.....	25
6.1.2 Skalná – sever .....	31
6.1.3 Německá část území a okolí Bad Brambach.....	35
6.2 Historický vodovod ve Skalně .....	40
6.3 Prameny na terciéru SKR/9 A, B,C .....	50
6.4 Kyselky .....	53
6.4.1 Kyselky na granitu .....	54
6.4.2 Kyselky v krystalinickém obalu.....	55
6.4.3 Kyselky na terciéru .....	58
6.5 Chemický rozbor vod.....	59
6.6 Uran a radium ve vodách .....	61
7 Diskuze .....	62
8 Závěr.....	65
Seznam použité literatury:.....	66

## Seznam tabulek a obrázků

Obrázek 1: Mapa smrčinského granitu s vyznačenými typy hornin. Převzato z: <a href="http://www.geopark-bayern.de">http://www.geopark-bayern.de</a> , modifikováno z práce Hechta (1997). .....	8
Obrázek 2: Geologická mapa smrčinského masivu dle Vejnara (1960). 1 Porfyrická žula (G1), 2 Biotiticko – muskovitická žula (G1S), 3 Muskovitická žula až granodiorit (G1Sm) – označena červeným obrysem, 4 Křemenné žíly, 5 Lamprofyry a porfyryty, 6 Terciální vulkanity, 7 Ortoruly, 8 Biotitické a muskovitické pararuly, 9 svory, 10 Fylity s vložkami mramorů a grafitických hornin, 11 Terciální sedimentární horniny, 12 Zlomy. ....	9
Obrázek 3: Geologická mapa smrčinského plutonu podle Vejnara (1960), upravena Štemprokem (1992), publikovaná v práci Chlupáčové a kol. (1998). 10 – hranice mezi dvojslídnu žulou a muskovitickým granitem podle Vejnara (1960), 11 – hranice mezi dvojslídnu žulou a muskovitickým granitem podle Škvora (1974). ....	10
Obrázek 4: Mapa pozic epicenter zemětřesení ( $M > 0$ , $N = 11k$ ) poskytnuté prof. T. Fischerem a fotolineace DPZ vyhodnocené Dr. V. Kopačkovou v rámci výřezu zkoumaného území.....	12
Obrázek 5: Mapa výskytu radonových vod severně od Skalné podle Zukriegelové (1961). Obsahy radonu v Macheových jednotkách ( $1 \text{ MJ} = 13,5 \text{ kBq/l}$ ): 1 – do 1 MJ, 2 – 1 až 5 MJ, 3 – 10 až 30 MJ, 4 – 30 až 50 MJ, 5 – 50 až 100 MJ, 6 – 100 až 300 MJ, 7 – 300 až 500 MJ, 8 – nad 500 MJ, 9 – obrysy území s vývěry radonových vod, 10 - vrstevnice, 11 – polní cesty..	15
Obrázek 6: Porovnávací měření scintilačních radiometrů RP-11 na terénní základně .....	17
Obrázek 7: Aktivita vod studovaného území, Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech. ....	23
Obrázek 8: Podrobnější mapa aktivity vod území Skalná – Plesná – Bad Brambach na výchozu muskovitické variety smrčinského granitu. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech. ....	24
Obrázek 9: Mapa aktivity vod oblasti Plesná – jih s vyznačenými nejdůležitějšími prameny. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.....	25

Obrázek 10: Pramen SK1/6A s vodočtem, v pozadí pramen Břetislav – Radonka. Foto: Š. Turnová, 2017. ....	26
Obrázek 11: Původní vzhled vývěru pramene Břetislav – Radonka v den objevu. Foto. V. Goliáš, 2016. ....	27
Obrázek 12: Foto z podchycování pramene Břetislav – Radonka. Foto: Š. Turnová 2017.....	28
Obrázek 13: Pramen Břetislav po podchycení v červnu 2017. Foto: Š. Turnová 2017.....	28
Obrázek 14: Mapa zobrazující obsah ekvivalentního uranu v okolí pramene Břetislav – Radonka (SK1/6A,B) podle výsledku terénní gama spektrometrie. ....	29
Obrázek 15: Graf – roční měření loggeru – průtok, teplota pramene Břetislav – Radonka.....	30
Obrázek 16: Závislost aktivity $^{222}\text{Rn}$ na průtoku pramene Břetislav – Radonka. ....	31
Obrázek 17: Aktivita vod oblasti Skalná – sever. Na mapě jsou vyznačené nejvýznamnější zdroje. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech. ....	32
Obrázek 18: Vzhled vývěru pramene Marie Z (SKR/3) v nálezové situaci, po stržení hrabanky. Kameninová trubka, typický výrobek keramických závodů ve Skalné, byla na místo donesena od přístupové cesty ve vedlejším údolí. Je pravděpodobně pozůstatkem nejstaršího vodovodu, značeného na tomto místě v mapách z roku 1920 již jako „Alter Rohrleitung“ (archiv CHEVAK a.s.). ....	33
Obrázek 19: Závislost aktivity $^{222}\text{Rn}$ na průtoku pramene Marie Z.....	34
Obrázek 20: Současný stav pramene Marie Z po podchycení v září 2016. Foto: Š. Turnová 2016.....	34
Obrázek 21: Aktivita vod na německé části území. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech. ....	35
Obrázek 22: Společný stojan na odběr lázeňských pramenů v Bad Brambach. Foto: Š. Turnová 2018. ....	36
Obrázek 23: Podzemní laboratoř pramene Wettingquelle. Foto: Ivo Hlásenský 2018.....	37

Obrázek 24: Pramen SK1/19, který se nachází u podjezdu pod tratí v lázeňském parku Bad Brambachu, Foto: Ivo Hlásenský 2018 .....	38
Obrázek 25: Vývěr pramene SK2/12 pod tělesem nové silnice. Foto: V. Goliáš 2016 .....	39
Obrázek 26: Vodohospodářská mapa Skalné (staženo z heis.vuv.cz). ....	40
Obrázek 27: Mapa starého skalenského vodovodu s kódovým označením jednotlivých objektů. Nahoře část pod Lužským vrchem i se zakresleným objektem v Mordově rokli (SKR/12), který ale nemá propojení s tímto vodovodem. Větev Skalná – Nový svět končí v čerpací stanici (SKR/8). Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ).....	41
Obrázek 28: Současný stav staré vodárny na Novém světě z roku 1913. Bývalá vodárna se dnes nachází na soukromém pozemku. Foto: Š. Turnová 2018.....	43
Obrázek 29: Mapa propojení a schéma vnitřního uspořádání jímacích objektů mladší, západní větve starého skalenského vodovodu s výsledky provedeného stopovacího pokusu.....	45
Obrázek 30: Pramen Pod skalou je zachycen uvnitř tohoto vodárenského objektu (SK2/1). Foto: Š. Turnová 2018.....	47
Obrázek 31: Samospádový výtok pramene Pod skalou po podchycení a vybudování pramenní mohyly, cca 30 m pod jímacím objektem SK2/1, v září 2018, Foto: Š. Turnová 2018.....	48
Obrázek 32: Napojení a vyvedení pramene Pod skalou na staré jímání v objektu SK2/1, podzemní laboratoř. Foto: V. Goliáš 2018.....	48
Obrázek 33: Projekt třetího vodovodu z roku 1928 od firmy Ernst Justel (výřez celkové mapy). Tento projekt nebyl nikdy realizován. V mapě vyznačeno umístění nejstaršího vodovodu („Alte Rohlleitung“), nejspíše z 19. století. ....	49
Obrázek 34: Rozsáhlé prameniště s radioaktivními vývěry na terciéru Foto: Š. Turnová 2017. ....	51
Obrázek 35: Mapa dávkového příkonu záření gama na území s klastrem vývěrů radonových vod na terciéru. Červenými body jsou vyznačeny pozice nejvýznamnějších objektů SKR9/A,B a C. ....	52

Obrázek 36: Mapa pozice kyselek na granitu, okolním krystaliniku i terciéru chebské pánve. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS ( <a href="http://mapy.geology.cz/arcgis/services">http://mapy.geology.cz/arcgis/services</a> ), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.....	54
Obrázek 37: Mapa kyselek v okolí Plesné a Smrčiny. Mapa převzata z: Myslil a Kolářová – Minerální vody západočeského kraje (1978). .....	56
Obrázek 38: Plesenská kyselka. Foto: Š. Turnová 2018. ....	57
Obrázek 39: Pramen Velebil, levostranný přítok do Pstruhového potoka, Dobře je patrný velký objem železitých precipitátů. Foto: V. Goliáš 2017. ....	58
Obrázek 40: Císařský pramen v NPR SOOS. Foto: Š. Turnová 2018. ....	59
Obrázek 41: Korelace mezi aktivitou $^{222}\text{Rn}$ zdroje a dávkovým příkonem záření gama, měřeným ve vývěru pramene. ....	64
Tabulka 1: Statistický přehled změřených pramenů .....	22
Tabulka 2: Přehled chemických (molárních) typů vod série analyzovaných vzorků .....	60
Tabulka 3: Chemický rozbor vybraných vzorků vod.....	61
Tabulka 4: Statistické zhodnocení radioaktivity vod na smrčinském masivu .....	63



## Seznam příloh

Příloha 1: Celkový přehled měřených zdrojů

Příloha 2: Přehled měřených kyselek

# 1 Úvod a cíle práce

Pojem radioaktivita je pro spoustu lidí synonymem něčeho neznámého, nebezpečného a zdraví škodlivého. Mají toto slovo spojené s jadernými elektrárnami, zbraněmi, a v mnoha případech i se smrtí... Existuje malá skupinka lidí, která radioaktivitu zkoumá, a která si pod tímto pojmem dokáže představit zcela něco jiného, výjimečného až unikátního. Radioaktivita může mít v malé míře i pozitivní vliv na lidské tělo. V lidech spočívá často nejistota a jejich postoj je značně negativní, jejich názor nechtějí změnit, představují si, že prvky jako uran a jemu podobné, jsou dosti nebezpečné látky, ale jen do doby, dokud se s výsledky vědců neseznámí, nebo dokud neuvidí výsledky ze zkoumání a pokusů. Existují také lidé, kteří svůj názor změnili, a to především po návštěvě některých lázní.

Radioaktivita byla objevena v roce 1896 Henrym Becquerlem u soli uranu, jedná se o jev, při kterém dochází k vnitřní přeměně složení nebo energetického stavu atomových jader, při kterém se vyskytuje vysokoenergetické ionizující záření. Radioaktivitě a pojmům s ní spojených, jako jsou například (dále jen např.) radioaktivita přírodní, radioaktivita umělá a radioaktivní vody, také kde všude se můžeme s radioaktivitou setkat, jsou věnované následující kapitoly.

Radioaktivní vody se využívají především v lázeňství, jsou vázány na specifické hydrogeologické a geologické podmínky, které se v České republice nacházejí na několika místech, jako jsou například: východní Krkonoše, Chrastava – Bogatynia, Orlicko – sněžnické krystalinikum, tanvaldský granit, Lázně Libverda – Świerdów – Zdrój, Jizerské hory. Mezi nejznámější české radioaktivní lázně patří Jáchymov.

Cílem této práce byl radiohydrogeochemický průzkum západní částí České republiky konkrétně na území Skalná – Plesná – Bad Brambach, jak to vypadá s radioaktivitou podzemních vod v dané oblasti a vyhledat takové prameny, které se dle „Lázeňského zákona 164/2001 Sb., o přírodních léčivých zdrojích, zdrojích přírodních minerálních vod, přírodních léčebných lázních a lázeňských místech a o změně některých souvisejících zákonů (dále jen lázeňský zákon)“ dají definovat, jako radioaktivní minerální vody s aktivitou větší než 1500 Bq/l.

## 2 Radioaktivita, radionuklidy ve vodách, radonové vody a jejich využití v lázeňství

Tato kapitola blíže popisuje pojem radioaktivita od počátku jejího objevení až po její využití především v oblasti lázeňství.

### 2.1 Radioaktivita

Radioaktivita je nestabilita jader daného prvku, který se následně přemění na jiný prvek stabilnější, který je dán poměrem protonů a neutronů v jádře. Dochází k emisi částic (kvanta elektromagnetického záření nebo zachycení elektronu z elektronového obalu), za vzniku ionizujícího záření). Účelem radioaktivní přeměny je dosažení stability atomu, jehož struktura se již dále samovolně nemění. Existují 3 typy záření podle chování záření v elektrickém a magnetickém poli.

**Záření  $\alpha$**  je proud letících heliových jader, má silné ionizační účinky, malou pronikavost. Letící částice proniká pouze malou vrstvou vzduchu. Záření alfa lze odstínit listem papíru. Na člověka nemá žádný účinek, neboť záření je pohlceno pokožkou člověka. Vnitřní působení záření může vést ke vzniku nádorového onemocnění. Alfa záření lze využít také k léčebným účelům. Jeho působení v určitých dávkách aktivuje obranné mechanismy buněk.

Mezi látky, které jsou zdroji záření  $\alpha$  patří například uran, radium nebo radon (platí pro nestabilnější izotop  $^{222}\text{Rn}$ ). Vzniká jako produkt radioaktivního rozpadu radia a uranu a díky své nestálosti zaniká dalším rozpadem. Ve vodě je velmi dobře rozpustný.

**Záření  $\beta$**  může probíhat více způsoby a to buď rozpadem beta  $-$ , který spočívá v rozpadu neutronu na elektron, proton a antineutrino. Jako další je rozpad beta  $+$ , což je přeměna protonu na neutron a pozitron. Je pronikavější než záření  $\alpha$ , ale má menší ionizační účinky. Může proniknout pouze materiály s malou tloušťkou, naproti tomu jej zachytí hliníková fólie. Další formou beta rozpadu je tzv. záchyt elektronu.

**Záření  $\gamma$**  u nějž nedochází k přeměně prvků, ale pouze ke snížení vnitřní energie nukleonů v jádře. Záření  $\gamma$  má velkou energii a velkou pronikavost a je doprovázeno  $\alpha$  i  $\beta$  zářením.

Poslední formou radioaktivního rozpadu je spontánní štěpení, které je typické spíše pro jádra těžkých prvků.

Za objevitele radioaktivity se považuje francouzský fyzik a člen francouzské akademie věd Henry Becquerel (1896). Zpočátku se zabýval optickými vlastnostmi látek. Poté, co byly objeveny rentgenové vlny v roce 1895, se zabýval vztahem mezi rentgenovým zářením a fluorescencí uranových solí. Tento jev nebyl doposud nikde popsán, jednalo se o takzvané (dále jen tzv.) Becquerelovy paprsky. Henry Becquerel v roce 1896 zveřejnil výsledky pokusů, kdy usoudil, že soli vyzařují jiné než světelné záření. Pokusy prováděl se solemi a fotografickou deskou. Jednalo se o materiál, který na desce chemicky reagoval bez nutnosti světelného ozáření.

Na objevy Henry Becquerela navázali manželé Pierre Curie a Marie Curie-Sklodowska, kteří objevili obdobné vlastnosti u thoria. Marie Curie Skłodowska použila poprvé, namísto názvu Becquerelovy paprsky, pojem radioaktivita. Manželé Curieovi objevili další radioaktivní prvky jako polonium (150krát radioaktivnější než uran) a radium (900krát radioaktivnější než uran). Marie Curie-Sklodowska v roce 1899 zavedla pojem přirozená radioaktivita.

Mezi radioaktivní látky se řadí jeden z mnoha prvků radon, který byl objeven v roce 1900 Frederickem Dornem. Jedná se o bezbarvý plyn, bez jakéhokoliv zápachu, je nereaktivní s poločasem rozpadu 3,82 dne.

V roce 1903 manželé Pierre Curie a Marie Curie-Sklodowska a Henry Becquerel získali Nobelovu cenu.

V roce 1935 manželé Frédéric a Irène Joliot-Curieovi získali za své pokusy Nobelovu cenu. Díky svým pokusům zavedli pojem umělá radioaktivita.

### Přírodní radioaktivita

Přírodní nebo také přirozená radioaktivita je důsledkem samovolné přeměny atomového jádra těžkých prvků, které vyzařují záření a přeměňují se na jádra lehčích prvků. V přírodě se vyskytuje spousta radioaktivních látek, které se pak označují jako radioaktivní látky, včetně tkání živých organismů.

#### ***2.1.1 Umělá radioaktivita***

Umělá radioaktivita byla objevena náhodně manžely Frédéricem a Irène Joliot-Curieovými, když prováděli pokusy s pozitrony a při tom zapomněli na hliníkovou fólii u čítače paprsků. Na něm se později objevil vysoký počet záznamů. Při zpětném hledání příčiny se podařilo

objevit reakci a chemicky ji dokázat. Za tento typ radioaktivity byli manželé oceněni v roce 1935 Nobelovou cenou.

Umělá radioaktivita je podmíněna přeměnou jádra za pomoci vnějšího umělého zásahu. Například (dále jen např.) ostřelováním částicemi alfa, dochází k samovolné přeměně jader a ty vykazují radioaktivitu. Tento typ jader se v přírodě běžně nenachází, byl vytvořen uměle. Zákonitosti přeměny těchto uměle vytvořených jader jsou shodné se zákony popisujícími přeměny přirozeně radioaktivních jader.

## **2.2 Radionuklidy ve vodách**

Ve vodách převažuje radioaktivita přírodní. Radioaktivita hornin je způsobena především přítomností  $^{40}_{19}\text{K}$ , který doprovází přírodní draslík v hmotnostním zlomku asi 0,012% (Pitter 2009). Ve vodách najdeme hlavně tyto radionuklidy:  $^{238}\text{U}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{230}\text{Th}$ ,  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{210}\text{Po}$ . Ve vodách se radionuklidy mohou vyskytovat ve třech formách: iontové, neiontové a koloidní. V radioaktivních vodách způsobuje radioaktivitu zejména radon (Pitter 2009).

Podle složení minerálních vod jsou „Lázeňským zákonem“ (č. 164/2001 Sb.) definovány i tzv. vody radonové, jejich radioaktivita je způsobena obsahem izotopu  $^{222}\text{Rn}$  s poločasem rozpadu 3,82 dne. Aby se voda dala klasifikovat jako minerální, musí obsah radonu převyšovat hodnotu 1500 Bq/l. Takové vody můžeme najít v oblasti Krkonoš, Jáchymova, Jizerských a Krušných hor. Proslulé jsou vody v Jáchymově, kde nejprůtočnější pramen Běhounek dosahuje hodnot až 9500 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$  (Pitter 2009).

## **2.3 Radioaktivní terapie, radioaktivní lázeňství**

Na celém světě se nachází množství lázní, kde se k léčbě používá radonová voda, a to v Německu, Rakousku, Polsku, Itálii, Rusku, Japonsku a dalších zemích. Mezi nejznámější radonové lázně u nás patří Jáchymov.

Zde se lázeňství začíná rozšiřovat na přelomu 19. a 20. století. V roce 1905 byla v důlní vodě prokázána radioaktivita, což vedlo k myšlenkám o léčebných účincích pramenů. O rok později byly v jižní části údolí založeny radonové lázně, čímž se město Jáchymov stalo prvním městem ve světě s radioaktivními lázněmi. Na výstavbě a rozšíření lázní se podíleli vídeňští architekti. V první polovině 20. století vykazuje Jáchymov vysokou kvalitu nejen v lázeňství, ale i v rysech evropské architektury. Mezi nejvýznamnější hosty patřili např.

Tomáš Garigue Masaryk, Marie Curie – Sklodowska, Alois Jirásek, Richard Strauss nebo německý spisovatel Karl May a další (Zeman 2015).

V 50. letech 20. století lázeňství upadalo, neboť v Jáchymově se začal těžit uran a v okolí se začaly zřizovat internační tábory pro politické vězně. Lázně se opět začaly probouzet ke svému životu v 60. letech 20. století. V roce 1975 byl dostavěn nový velký lázeňský ústav Běhounek. Od 90. let lázně opět prosperují. Celému komplexu dominují dva velké objekty nad prostorem hlavní křižovatky a to jsou již zmiňovaný Běhounek a Curie (Zeman 2015).

Hlavním zdrojem radonové vody, pro potřeby lázní, jsou termální a chladné prameny radonové vody o teplotě 29 – 36 °C. Tyto vody obsahují stopové prvky, jako jsou cesium, titan, tantal, beryllium, radon a radium, a využívají se k léčení nemocí nervového původu a nemocí pohybového ústrojí. Revmatoidní potíže se léčí pomocí vodoléčby, koupelemi v radonové minerální vodě, suchými uhlíčitými koupelemi nebo masážemi. V lázních probíhají rovněž magnetoterapie, termoterapie, kinezioterapie (cvičení v bazénu) a jiné. Dalším způsobem užití jsou inhalace, mezi zástupce patří rakouské lázně Bad Gastein. Pitné radonové kúry se používají pouze doplňkově, jelikož voda obvykle nemá dostatečný obsah radonu, aby i pitná kúra (o omezeném objemu a tedy i relativně malé dávce ozáření) měla požadované účinky (Zeman 2015).

V Německu existují lázně, které se nazývají Bad Brambach, a patří k nejznámějším radonovým lázním. Zde se nachází pramen Wettingquelle o aktivitě až 27 kBq/l  $^{222}\text{Rn}$ , což už je dostatečně aktivní pramen pro pitnou kúru a tento pramen se i tímto způsobem dlouhodobě využívá. Tyto lázně se nacházejí nedaleko českých hranic.

### 3 Obecná charakteristika území

#### 3.1 Geografie území

Oblast Skalná – Plesná se nachází několik kilometrů severně od Františkových lázní. Část zkoumaného území zasahuje i na německou stranu až k Bad Brambachu. Velikost zkoumaného území je kolem 15 km<sup>2</sup>. Částečně se výzkum zaměřoval i na ašský výběžek.

Zkoumaná oblast leží ortograficky ve Smrčinách (německy Fichtelgebirge), což je členitá hornatina, rozkládající se z větší části na německém území (severovýchodní Bavorsko, jihozápadní Sasko) a z menší části na české straně v okolí Chebska. Nejvyšší kopec na české straně Smrčin je Háj (758 m.n.m.), který se nachází asi 1 km severovýchodně od Aše.

#### 3.2 Geologie

Oblast chebské pánve a smrčinského masivu náleží k sasko – durynské oblasti. Ze sasko – durynské oblasti zasahuje na české území pouze jihovýchodní okrajová část, která tvoří část Krušných hor, Smrčin, krystalinické jednotky v podloží terciární výplně oherského příkopu, výskyty krystalinika v okolí Chebu, Dyleně a ve Slavkovském lese (Chlupáč a kol 2011).

##### 3.2.1 Chebská pánev

Chebská pánev je nejzápadnější podkrušnohorskou pánví o celkové rozloze 300 km<sup>2</sup>. Hranice je zlomová a morfologicky výrazná na východě, kde jde o pokračování mariánskolázeňského zlomu k severu. Ostatní hranice jsou buď transgresní nebo probíhají lokálními zlomy (Mísař a kol 1983). Chebská pánev je vyplněna sladkovodními terciárními sedimenty eocenního až pliocenního stáří. Pánevní sedimenty nasedají na krystalinikum klastickými sedimenty starosedelského souvrství, které vyplňují morfologické nerovnosti a tektonické deprese předterciárního reliéfu. Nejsou tedy zastoupeny na celé ploše pánevního dna, ale jen místy v jeho depresích a jsou kryty mladšími sedimenty. Nevystupují nikde na povrch a byly nalezeny jen pomocí vrtů v tektonicky zakleslé kře u Velkého Luhu. Následující novosedelské souvrství bylo také zaznamenáno jen pomocí vrtů v hlubších částech chebské pánve. Svrchní část novosedelského souvrství je tvořena vulkanogenními sedimenty s uhelnými proplásky. Následující sokolovské souvrství spočívá v chebské pánvi přímo na zvětralém krystaliniku. Střední část sokolovského souvrství tvoří organogenní sedimenty s hnědouhelnou slojí. Svrchní část sokolovského souvrství je známa také jako cyprisové

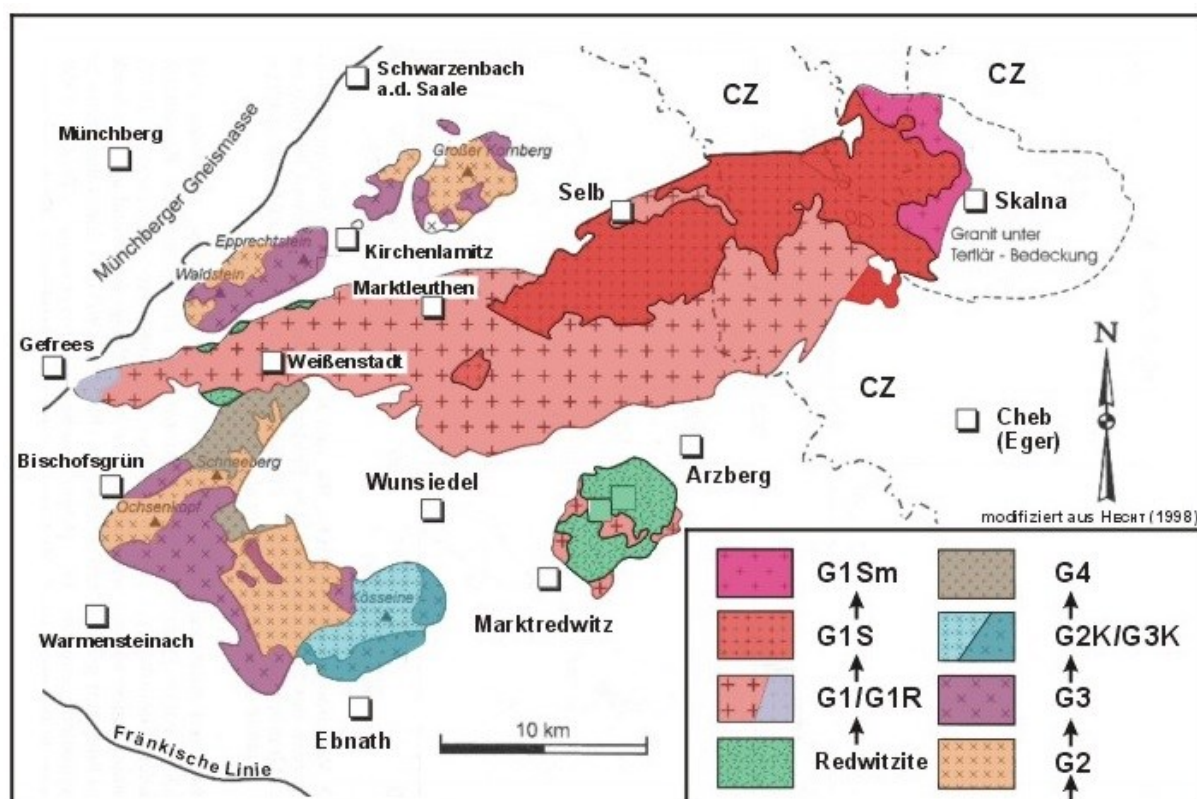
souvrství. Poté dochází v pliocénu k sedimentaci jílu a písku, které tvoří vildštejnské souvrství. Vildštejnské souvrství je významné z hlediska výskytu ložisek kvalitních pórovinových a vazných jílu, těžených nedaleko od Skalné. Touto vrstvou končí v chebské pánvi terciární sedimentace (Burda 1998).

### **3.2.2 Smrčinský masív**

Smrčinský masiv tvoří asi 60 km dlouhé a 8 - 10 km široké těleso začínající v okolí Fichtelbergu v Německu a táhnoucí se přes Weisenstadt, Marktleuthen na území České republiky, kde v odkryté části pokračuje přes Libou a Hazlov k Plesné a Skalné. Od těchto obcí pokračuje dále pod sedimentárními horninami chebské pánve a vynořuje se u obce Horka, asi 7 km severozápadně od Kynšperka nad Ohří (Hejtman 1984). Na území České republiky se vyskytuje pouze malé procento z celkové odkryté plochy smrčinského masivu. Smrčinský masiv je vázán na osní část smrčinského antiklinoria, tvořeného metamorfovanými paleozoickými horninami. Je posttektonický, jeho poměr k vrásové stavbě pláště je na mnoha místech zřetelně diskordantní (Hejtman 1984)

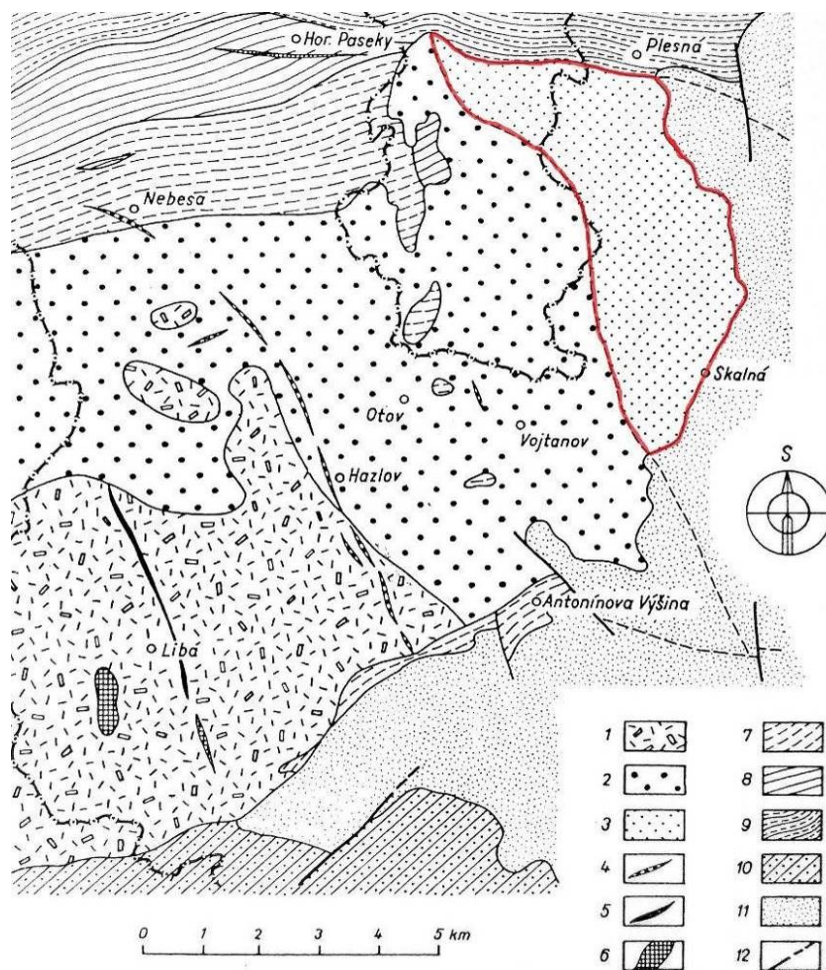
V německé i v české části masivu bylo rozlišeno několik typů granitoidů. Richter a Stettner (1979) rozeznávají stejně jako Lange et al. (1972) a Haake (1972) v krušnohorském plutonu několik typů v rámci staršího a mladšího intruzivního komplexu. Horniny mladšího intruzivního komplexu se nachází pouze na německé části smrčinského masivu. Ke staršímu intruzivnímu komplexu zařazují porfyricko biotitické granitoidy (G1), muskoviticko – biotitické granitoidy (G1S) (Hejtman 1984). Větší části těchto typů se nacházejí na německém území, avšak v malé míře přecházejí i na naše území (Obr. 1) v okolí Hazlova a Libé.





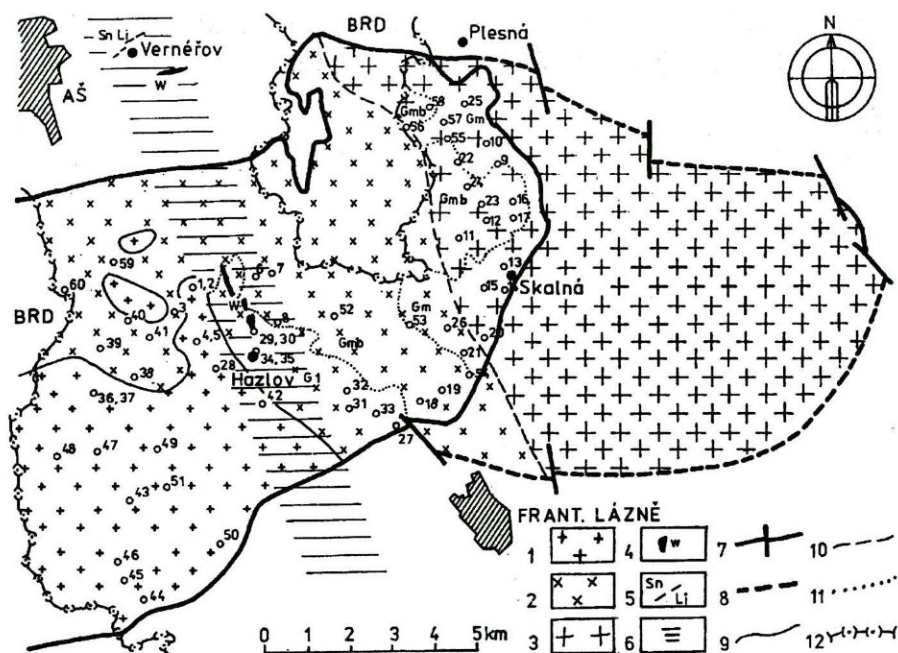
Obrázek 1: Mapa smrčinského granitu s vyznačenými typy hornin. Převzato z: <http://www.geopark-bayern.de>, modifikováno z práce Hechta (1997).

Směrem na východ přecházejí dle Vejnara (1960) i pozdějších autorů ve facii muskovitickou, kterou lze snad symbolem označit G1Sm. Tato facie se mezi Plesnou a Skalnou noří pod sedimentární horniny chebské pánve a vynořuje se u obce Horka (Hejtman 1984). Typ G1Sm se řadí k horninám staršího intruzivního komplexu. Muskovitické granitoidy typu G1Sm se vyskytují na české části smrčinského masívu, pouze mezi Skalnou a Plesnou (Obr. 2). Tam je i několik opuštěných lomů, jinak je typ G1Sm převažujícím granitoidem v podloží chebské pánve dále na východ, jen místy je vystřídán typem dvojslídovým (Hejtman 1984). Vyskytuje se v hloubkách od několika metrů až po hloubky skoro 400 m (Václ 1979). Typ G1Sm je hornina stejnosměrně zrnitá. Z hlavních minerálů obsahuje plagioklas, draselný živec, křemen, muskovit.



Obrázek 2: Geologická mapa smrčinského masivu dle Vejnara (1960). 1 Porfyrická žula (G1), 2 Biotiticko – muskovitická žula (G1S), 3 Muskovitická žula až granodiorit (G1Sm) – označena červeným obrysem, 4 Křemenné žíly, 5 Lamprofyry a porfyryty, 6 Terciární vulkanity, 7 Ortoruly, 8 Biotitické a muskovitické pararuly, 9 svory, 10 Fylity s vložkami mramorů a grafitických hornin, 11 Terciární sedimentární horniny, 12 Zlomy.

Chlupáčová a kol. (1998) uvádí, že rozdíl mezi typy je v obsahu uranu, thoria a draslíku. Typ G1Sm má stejné obsahy uranu jako ostatní typy, ale má mnohem méně thoria. Práce Chlupáčové vycházela z mapy Vejnara (1960). Byly zde odebrány vzorky, u kterých se měřil obsah uranu, thoria a draslíku. Chlupáčová a kol. (1998) vymapovali hranici typu G1Sm a G1S s mnohem složitějším průběhem (Obr. 3). I při našich pochůzkách terénem jsme zaznamenali, že do sebe oba typy přecházejí značně nepravidelně.



Obrázek 3: Geologická mapa smrčinského plutonu podle Vejnar (1960), upravena Štemprokem (1992), publikovaná v práci Chlupáčové a kol. (1998). 10 – hranice mezi dvojsíldnou žulou a muskovitickým granitem podle Vejnar (1960), 11 – hranice mezi dvojsíldnou žulou a muskovitickým granitem podle Škvora (1974).

Typ G1 – porfyrická biotitická žula se na české straně nachází jižně od Hazlova a Libé. Podle Vejnar (1960) tento typ obsahuje tabulkovité, podle karlovarského zákona zdvojitěné vyrostlice perthitického mikroklinu, nejčastěji o velikosti 2 – 8 cm. Z hlavních minerálů jsou zde přítomny, kromě mikroklinových vyrostlic také biotit, plagioklas, mikroklin, křemen a muskovit).

Typ G1S biotiticko muskovitická žula je nejlépe přístupná severně a východně od Hazlova. Místy tam uzavírá drobné xenolity a různě velké kry ortorul, svorů a erlánů (Hejtman 1984). Z hlavních minerálů jsou zde biotit, plagioklas, křemen, draselný živec, muskovit.

### 3.3 Hydrologie a podnebí zkoumané oblasti

Hydrologie této oblasti je velice pestrá. Velká část území náleží do povodí Ohře. Mezi významné povrchové toky ústící do Ohře patří např: Sázek, Plesná, Libocký potok, Libava, Odrava. Podnebí je zde chladné, vlhké a větrné.

### 3.4 Vulkanismus a tektonika

Chebská terciérní pánev leží v místě styku dvou strukturních jednotek oblasti intenzivní variské tektogeneze a to krušnohorsko-durynské a tepelsko-barandienské. Pánevní sladkovodní kontinentální sedimenty tvoří „platformní pokryv“ západní části oháreckého synklinoria, oddělujícího antiklinální pásma obou strukturních jednotek (Zoubek a kol 1963). Celá oblast je protkána velkými zlomovými pásmy. Hlavní poruchové systémy byly založeny v mladších fázích variské orogeneze. Obnovení pohybů podél starších zlomů, především v terciéru a na počátku kvartéru, vytvořilo v chebské pánvi a okolním krystaliniku oslabená pásma, která umožnila výstup vulkanismu. Intenzivní vulkanická činnost se projevila koncem svrchního miocénu a jejím dozvukem jsou četné výskyty uhličitých vod v této oblasti (Kolářova 1965).

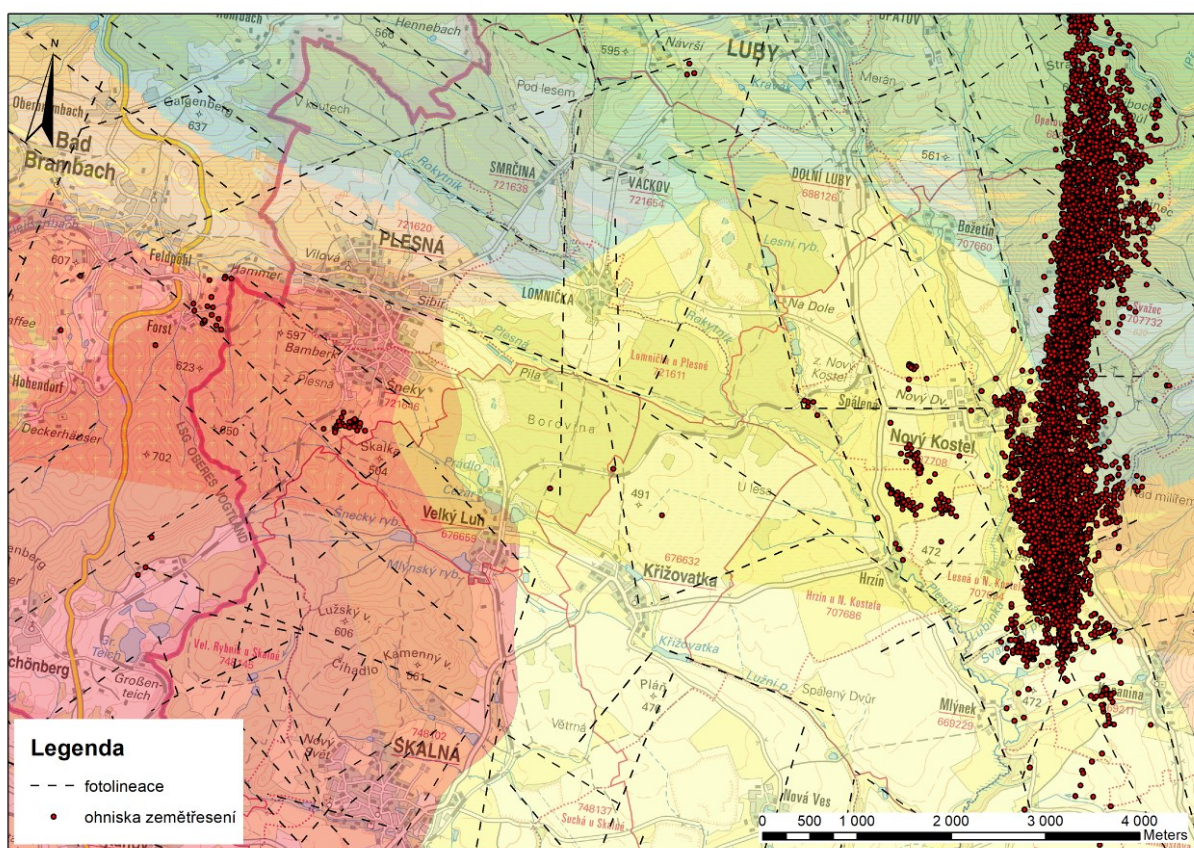
V období terciérní sedimentace se zde odehrály tři fáze tektonických pohybů (Ambrož 1958): první fáze před sedimentací slojového pásma. Tato fáze znamenala pokles pánevní kry, náznaky obrysu pánve a podmínila mocnost a rozsah slojového pásma. Druhá fáze tektonických pohybů nastala po sedimentaci uhlí, náhlým poklesem pánve, který změnil močály v bezodtoké jezero. Třetí fáze byla nejintenzivnější, probíhala po sedimentaci cyprisového souvrství, rozbila pánev na malé kry a ukončila terciérní sedimentaci. Pohyby saxonské tektoniky se zde projevují ve dvou systémech založených v mladší fázi variské tektogeneze a to jz. - sv. směrných a sz.-jv. příčných. Všeobecně za starší se považují pásma jz.- sv..

#### 3.4.1 *Současná seismologická měření*

V obci Skalná se po zemětřeseném roji v roce 1985/86 začala budovat seismologická stanice. V roce 1988/89 byl spuštěn její zkušební provoz ve starém vodojemu na soukromém pozemku. Ve starém vodojemu stanice fungovala až do roku 1995. V roce 1994 byla spuštěna nová stanice ve štole ve skále u hradu Vildštejn. Seismologická stanice zde funguje až dodnes.

Nový kostel se nachází 8 km severovýchodně od obce Skalná. Oblast Nového Kostela je významná svými častými zemětřeseními. Seismologický průzkum zde probíhal i pod vedením profesora RNDr. Tomáše Fischera Ph.D., který poskytl údaje o epicentrech v této oblasti (Obr. 4).





Obrázek 4: Mapa pozic epicenter zemětřesení ( $M > 0$ ,  $N = 11k$ ) poskytnuté prof. T. Fischerem a fotolineace DPZ vyhodnocené Dr. V. Kopačkovou v rámci výřezu zkoumaného území.

### 3.5 Vyhledávání uranu na zkoumaném území

Do hledáčku geologů se smrčinský granit i chebská pánev dostaly při průzkumu na radioaktivní suroviny, kdy zde ve dvou etapách probíhaly vyhledávací povrchové i vrtné práce.

Do druhé etapy patří například i práce F. Lepky (1959) o orientačním průzkumu chebské pánve na radioaktivní suroviny.

Základní vyhledávací průzkum byl v oblasti proveden v měřítku 1:5 000 koncem 60. let minulého století, byl rozdělen na 2 etapy. První etapa zahrnovala uranonosnosti Ašského výběžku, druhá etapa byla dokončením průzkumu této oblasti a zahrnovala průzkum úseku Skalná - Plesná. Uranový průzkum byl prováděn jižně od Plesné a severozápadně a jižně od Skalné. Na každém z těchto úseku bylo objeveno několik anomálií, některé jsou pouze bodové a některé jsou izometrické s rozměry až několik 10 metrů. Díky tomuto a několika předchozím průzkumům tohoto území se nám podařilo nalézt některé prameny se zvýšeným

obsahem radonu např. SKR/9 A,B,C (viz kapitola Výsledky – SKR/9 A,B,C). Většina těchto anomálií je vázána na tektonické zóny, rozhraní hornin a příznivé horizonty v aluviálních sedimentech. Tyto oblasti výskytu byly zjištěny technickými pracemi (Hnízdo, 1992). Z alterací jsou rozhodující hlavně limonitizace a sericitizace, zvýšené hodnoty expozičního příkonu jsou v přímé závislosti na limonitizaci a to jak na povrchu, tak i v hloubce. Na základě ověřovacích prací zde bylo zjištěno, že uran je pouze infiltračního původu a výskyt průmyslově využitelného zrudnění uranu, je zde nepravděpodobný (Hnízdo 1992).

## **4 Dosavadní poznatky**

### **4.1 Hydrogeologická prozkoumanost chebské pánve a okolního krystalinika**

Geologickým výzkumem tohoto území se nejvíce zabývala Margarita Kolářová v 50. letech minulého století. Její publikace „Hydrogeologie Chebské pánve“ (1965) pro nás byla výchozím bodem při našem výzkumu. Protože se poblíž nachází i daleko známější Františkovy Lázně, byla oblast zkoumána i z důvodu potenciálního střetu zájmů s využitím ložisek uhlí v chebské pánvi.

V prvním období se výzkumem této oblasti zajímali jak čeští, tak němečtí geologové. Z německých například P. Balze (1908), který jako první sepsal souhrnnou geologii a stratigrafický profil terciéru Chebské pánve.

Nejvýznamnější studii o podzemních vodách chebské pánve podal Ota Hyníe v několika publikacích. V práci „Geologie minerálních zřídél v Čechách a na Moravě“ (Hyníe 1949) zhodnotil dosavadní názory na geologickou stavbu a tektonickou strukturu chebské pánve a nastínil poprvé ucelený obraz hydrogeologických poměrů oblasti. Další důležitou prací v oblasti hydrogeologie je „Katastr minerálních vod západočeského kraje“ (Kolářová, Dvořák 1975).

Od roku 1956 zde probíhal celkový výzkum chebské pánve. (V. Ambrož 1958; P. Šantrůček 1957,1959; V.Ambrož - M. Kolářová - M. Laboutka, 1961). Současně s tímto průzkumem zde probíhal i průzkum pro účely vodohospodářské, stavební, balneologické a ložiskové. Tyto práce se opírají o technické a účelové práce.

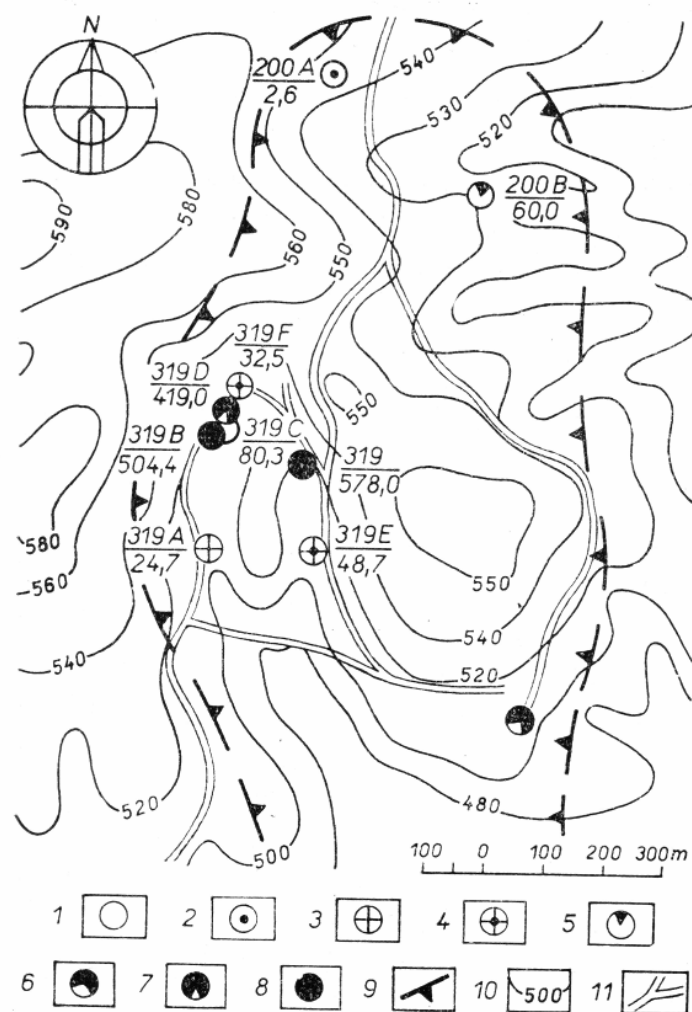
## 4.2 Bad Brambach

Obec Bad Brambach se nachází v Německu, na hlavní silnici z Vojtanova do Bad Elsteru. Bad Brambach se nachází 2 km východně od obce Plesná. První zmínky o Brambachu pocházejí z roku 1307.

Od roku 1890 začala firma Schüller prodávat vodu ze zdejšího minerálního pramene, který byl objeven roku 1860, pod názvem Schillerquelle. Později se výroba rozšířila, protože byly objeveny další prameny se zvýšeným obsahem radonu. V lázeňském parku se nachází i další prameny, některé z těchto pramenů jsou využívány na pitné kúry. Nachází se zde celkem 5 pramenů, již zmiňovaný Schillerquelle, dále Eisenquelle, Obere a Untere Grenzquelle a Wettingquelle. Dnes nejznámější a nejvyužívanější pramen Wettingquelle byl objeven roku 1911 C. Schiffnerem, profesorem baňské akademie ve Freibergu (Weidig 1912). Od roku 1912 se stal pramen Wettingquelle léčebně využívaným. O 10 let později od roku 1922 mohlo město Brambach začít využívat lázeňského titulu Bad, někdy se také používal název Radiumbad Brambach. Lázně jsou zde dodnes, nejvíce je využíván pramen Wettingquelle, který se používá k pitným kúram.

## 4.3 Skalná

Výskyt klastru pramenů s vysokou radioaktivitou severně od Skalné je dlouho znám (Zukriegelová in Kolářová 1961) a odtud přejímán do dalších prací. V původní práci je popsána slovně poloha vývěrů i připojena jednoduchá mapička (Obr. 5). Autorka uvádí aktivity vod 231 – 578 Mj (Macheových jednotek, 1 Macheova jednotka = 13,5 Bq/l), což odpovídá 3118 až 7803 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ . To je po jáchymovských pramenech druhá nejvyšší hodnota radioaktivity vod známá z území ČR.



Obrázek 5: Mapa výskytu radonových vod severně od Skalné podle Zukriegelové (1961). Obsahy radonu v Macheových jednotkách (1 MJ = 13,5 kBq/l): 1 – do 1 MJ, 2 – 1 až 5 MJ, 3 – 10 až 30 MJ, 4 – 30 až 50 MJ, 5 – 50 až 100 MJ, 6 – 100 až 300 MJ, 7 – 300 až 500 MJ, 8 – nad 500 MJ, 9 – obrysy území s vývěry radonových vod, 10 - vrstevnice, 11 – polní cesty

Dle našich znalostí nebyly zdejší prameny od té doby znovu dohledávány ani prověřovány. Všichni pozdější autoři přebírají pouze tyto historicky publikované hodnoty. Tato skutečnost byla také jedním z vážných důvodů volby a výběru tohoto průzkumného území.



## **5 Metodika průzkumu**

### **5.1 Příprava ploch v GIS**

Před zahájením terénních výzkumů, je nutno připravit vybrané území na podkladě známých mapových a datových podkladů. Pro tento účel byl použit systém GIS, konkrétně software ArcMap 10.2.

Na přípravu byly použity následující datové vrstvy: Geologická mapa České republiky v měřítku 1:50 000 (WMS server České geologické služby), dále byla použita topografická mapa v měřítku 1:50 000, (server CUZK), použita byla i vrstva anomálii uranového průzkumu (Krištiak a Záliš 1994). Později byla doplněna i německá geologická mapa v měřítku 1:50000 (Sächsisches landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dr. Frank Horna), mapy fotolineací – lineárních prvků podle dálkového průzkumu země, pro účely práce speciálně zhotovené RNDr. Veronikou Kopačkovou (ČGS) až v roce 2018, a také mapa epicenter zemětřesení v nedaleké oblasti Nového Kostela.

Na základě takto připravených map bylo zhodnoceno celé průzkumné území a vytipována místa zvláště pozoruhodná (tektonika, prameniště, uranové anomálie, atd.). Takové lokality pak byly zkoumány obzvlášť podrobně.

### **5.2 Terénní průzkum**

Terénní mapování probíhalo v měřítku 1:10 000. Plánování průzkumné túry probíhalo předchozí den večer. Do topografické mapy tohoto měřítka byly zaznamenávány terénní poznatky, tedy místa odběru vzorků i aktuální hydrologická situace vodních projevů bez zvýšené gama aktivity („negativní“ vodní projevy). Do terénu se každý den vypravoval různý počet skupin, každá skupina měla svoje označení. Terénní skupinu tvořili 1 – 3 členové. Mezi další vybavení skupiny, kromě již zmíněné mapy, patřilo: scintilační radiometr RP, motyka, deníček, hrníček, stopky na měření průtoku, GPS v síti WGS 84, láhve na odběr vzorků.

Pokud byl odebrán vzorek, na kterém byla zvýšená gama aktivita, musel se o něm udělat zápis do deníku. Tento zápis musel obsahovat číslo bodu, značení SK1/1 – to znamená skupina číslo 1 a za lomítkem číslo bodu. Jako další muselo být uvedeno: datum, jakou sondou bylo změřeno pozadí a samotný pramen, souřadnice a slovní lokalizace, popis místa (studna,

pramen apod.), čas odběru, průtok, pokud tam bylo prováděno i jiné měření (konduktivita, Haertl, teplota, pH), tak i výsledky tohoto měření.

Když už byla skupina zaměřena na určitý úsek, měla sebou navíc třeba gamaspektrometr GT – 32 nebo na poslední průzkumné akci měla vždy jedna skupina i Haertlův třepací přístroj.

### 5.3 Metodika vyhledávání pramenů v terénu

#### 5.3.1 Indikační metoda měření gama aktivity

Radioaktivní prameny byly vyhledávány pomocí indikačního měření záření gama. K tomuto měření byly použity přístroje RP-11 se sondami RFS-05 a RS-107. Přístroj RP – 11 se sondou RS – 107 byl kalibrován na povrchovém uranovém standardu, ve Stráži pod Ralskem (DIAMO s.p.). Podle toho je pak přepočtena citlivost ostatních sond používaných v terénu. Citlivost pro ostatní sondy se měří na jednom společném bodě, kde jsou všechny sondy ve stejný okamžik. Pro každou sondu je stanovena citlivost v imp/s na nGy/h (Obr. 6).



Obrázek 6: Porovnávací měření scintilačních radiometrů RP-11 na terénní základně

Samotný přístroj se skládá z měřicího pultu, na kterém je analogový displej s rozsahy 30,100,1000,3000 imp/s. Dále zde najdeme knoflík na nastavení časové konstanty a na přepínání mezi jednotlivými rozsahy. Z analogového displeje odečítáme imp/s, které ale nemají žádnou vypovídací hodnotu a je nutné je přepočítat, pomocí stanovené citlivosti

sondy, na dávkový příkon v nGy/h. Aby přístroj mohl měřit, je nutné k němu zapojit sluchátka a sondu. Sluchátka pomáhají lépe určit nejvyšší hodnotu anomálie, když se začne zvedat počet impulsu na displeji, ve sluchátkách začne být odezva mnohem hlasitější. Sonda obsahuje detektor, který obsahuje scintilační krystal (NaI) a fotonásobič. Sondy jsou ve voděodolném obalu a jsou vhodné i do hůře přístupných terénů. Dolní diskriminační hladina je pro všechny sondy nastavena na 60 keV.

### **5.3.2 Terénní stanovení rozpuštěného CO<sub>2</sub>**

K orientačnímu stanovení CO<sub>2</sub> ve vodě slouží Haertlův přístroj. Principem tohoto přístroje je převedení volného CO<sub>2</sub> z vody do konstantního objemu vzduchu v přístroji postupným mechanickým protřepáváním s následujícím odpouštěním části této vody pod vzniklým přetlakem. Stanovení je ukončeno, když se parciální tlak CO<sub>2</sub> v plynné fázi nad kapalinou dosáhne hodnoty, při níž je celkový tlak soustavy roven tlaku atmosférickému. Stanovení závisí na objemu vzduchu, vzorku a atmosférickém tlaku a také na teplotě vzorku (Krajča 1977).

Přístroj je tvořen válcem s cejchovaným objemem 125 ml. Spodních 100 ml nádoby je rozděleno na dílky po 1 ml, zbylých 25 ml je uzavřeno přesně vytvarovanou pryžovou zátkou, která musí být zastrčena přesně po vyznačenou rysku, aby byl objem přesně 125 ml. Uvnitř je odtoková trubička, která zajišťuje přesný objem vzorku 100 ml. Na konci je kónicky zúžena.

Přístroj byl používán na orientační měření obsahu CO<sub>2</sub> především v kyselkách. Opatrně jsme nabrali vodu, tak, aby byl zachován původní obsah CO<sub>2</sub>. Vzorky byly odebírány co nejbliž zdroji, výtok z trubky, vývěr ze země. Po nabrání vzorku byl přístroj uzavřen pryžovým uzávěrem, který musel sedět přesně po rysku. Poté se začalo třepat pod úhlem 45°, při třepání musí být ucpaný otvor odtokové trubičky. Několikrát se zatřepalo, pak byl uvolněn otvor odtokové trubičky, aby mohla vytéct voda, která je vytlačena vlivem přetlaku, který způsobí uvolnění CO<sub>2</sub>. Toto protřepávání se několikrát opakovalo, dokud nepřestala vytékat voda vlivem přetlaku uvolněného CO<sub>2</sub>. Následně se přístroj otočí do svislé polohy a na stupnici se odečte počet dílků. Celý tento postup opakujeme minimálně dvakrát, kvůli zpřesnění výsledků. K vyhodnocení je nutné znát teplotu, která se v tomto případě měřila následně digitálním teploměrem. Na základně se provádělo vyhodnocení pomocí tabulky, kde je uveden počet dílků na stupnici ku teplotě. Najdeme příslušný počet dílků a k tomu teplotu.

Tam, kde se hodnoty protnou, odečteme příslušnou hodnotu obsahu CO<sub>2</sub>. Nakonec se hodnoty CO<sub>2</sub> zprůměrují a to je výsledná hodnota.

### **5.3.3 Terénní gama spektrometrie**

Gamaspektrometrie je geofyzikální metoda, která se používá k měření dávkového příkonu radioaktivních hornin, hmotnostní aktivitu izotopu <sup>137</sup>Cs a energetické hladiny radioaktivních izotopů K, U, Th v gama záření a převádí je na hmotnostní koncentrace K (%), U (ppm), Th (ppm).

Pro terénní stanovení gama spektrometrie byl používán gamaspektrometr GT-32 od firmy GEORADIS (Brno). Je přístroj, který má detektor BGO o objemu 103 cm<sup>3</sup> o energetickém rozsahu 30 keV – 3 MeV. Přístroj je továrně kalibrován pro koncentrace K, U a Th v geometrii nekonečného poloprostoru.

## **5.4 Metodika odběrů vzorků vod**

Gama aktivitu vod ovlivňuje několik faktorů. Jeden z hlavních faktorů je množství organické hmoty v okolí pramene. Organická hmota může způsobit nárůst aktivity gama. Organická hmota na sebe váže produkty z rozpadové řady <sup>238</sup>U. Je to především olovo a bismut, které se mohou vázat nebo vytvářet organokovové sloučeniny. Další faktor, který může ovlivňovat gama aktivitu vod, je mech.

Tyto faktory, které mohou ovlivňovat gama aktivitu vod, je dobré v terénu znát, abychom neodebírali vzorky, jejichž aktivita bude menší než 1500 Bq/l.

Vzorky vod na následné večerní měření na základně, se musely odebírat podle několika různých faktorů. Jeden z faktorů byl ten, jakou metodu měření na daný vzorek využijem. Pokud byl odebírán vzorek na emanační měření, byl vzorek odebrán do půllitrové uzavíratelné láhve, aby radon neunikal. Také zaleželo na tom, odkud byl vzorek odebírán, zda to byla bažinka nebo vyvěrající pramen ze země nebo nějak jinak upravený pramen např. lidskou činností.

Pokud byl vzorek odebírán na scintilační měření, musela být nejprve označena scintilační lahvička o objemu 25 ml, číslem vzorku, datem a hodinou odběru. Ve scintilační lahvičce již byl předem nadávkován scintilační koktejl ULTIMA GOLD F (Perkin Elmer), používaný k tomuto stanovení. Vzorek byl odebírán pomocí injekční stříkačky o objemu 10 ml. U obou

těchto metod bylo nutné dbát na to, aby byl zachován původní obsah radonu. U odběru na emanační měření se voda musela nalévat po stěně láhve a u scintilační metody byl vzorek vstříknut rovnou do scintilačního roztoku, a následně byla lahvička uzavřena a protřepána.

Během posledních akcí bylo vybráno 9 významných zdrojů, které byly odebrané na chemickou analýzu vod. Nejdůležitějším kritériem pro výběr vzorků byla aktivita vyšší než 1500 Bq/l. Při odběru vzorků vod bylo nutné některé vzorky nejprve přefiltrovat přes membránové filtry MILIPORE o velikosti pórů 0,45μm podtlakovým filtrátorem. Vzorky byly odebírány do lahviček o objemu 250 a 50 ml. Lahvičky jsou vyrobeny z vysokohustotního polyethylenu (HDPE). Do menší lahvičky byli odebíraný kationty, které musely být ihned okyseleny 2 ml kyseliny dusičné (HNO<sub>3</sub>) z důvodu stabilizace kationtů.

## **5.5 Metody měření radonu na terénní základně**

### **5.5.1 *Emanometrie***

Na emanometru RP – 25 (ZMA Ostrov nad Ohří) byla měřena koncentrace <sup>222</sup>Rn. Jako detektor slouží ionizační komora válcovitého tvaru. Samotné měření probíhá tak, že vodu ze vzorkovnice přelijeme do skleněné láhve od objemu 0,85 l, která se uzavře gumovým uzávěrem. Po uzavření láhev protřepeme, v tuto chvíli radon z vody přejde do plynné fáze. Potom napojíme za použití hadiček láhev k přístroji a ručním balonkem se plyn vhání do ionizační komory. Měříme po dobu 4 minut, po uplynutí této doby se odečte z displeje hodnota tzv. emany. Hodnotu v emanech jsme zadali do excelovské tabulky, kde byl připravený program na přepočet na původní aktivitu v Bq/l. Při odečítání hodnoty z displeje může vzniknout chyba a tuto chybu musíme zohlednit ve výpočtech.

### **5.5.2 *LSC Triathler***

Kapalinová scintilační spektrometrie je analytická metoda vhodná k měření záření alfa a beta v roztocích. Principem této metody je interakce jaderného záření s hmotou. Dochází zde ke krátkodobé excitaci látky a následnému vyzáření energie formou světelného impulsu s vlnovou délkou v oblasti UV nebo IR. Ve vzorcích byl změřen obsah <sup>226</sup>Ra, který byl měřen minimálně dva měsíce po odběru vzorku.

Emanometrická i scintilační metoda byla opakovaně kalibrována naředěným standardem  $^{226}\text{Ra}$  EB7 (ČMI) v rovnováze s  $^{222}\text{Rn}$ .

### **5.5.3 Fyzikální parametry**

Mezi měřené fyzikální parametry vod patří: teplota ( $^{\circ}\text{C}$ ), vodivost ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), redoxní potenciál (mV) a pH. Měření těchto parametrů probíhalo v terénu, ale i večer na základně po změření vzorků emanometrem. Večer už nebyla měřena teplota, jelikož by neodpovídala skutečnosti.

## **5.6 Metodika měření vod v laboratoři**

Během posledních akcí bylo vybráno 9 významných zdrojů, které byly odebrané na chemickou analýzu vod. Nejdůležitějším kritériem pro výběr vzorků byla aktivita vyšší než  $1500\text{ Bq/l}$ . Při odběru vzorků vod bylo nutné některé vzorky nejprve přefiltrovat přes membránové filtry MILIPORE o velikosti pórů  $0,45\mu\text{m}$  podtlakovým filtrátorem. Vzorky byly odebírány do lahvíček o objemu 250 a 50 ml. Lahvičky jsou vyrobeny z vysokohustotního polyethylenu (HDPE). Do menší lahvičky byli odebíraný kationty, které musely být ihned okyseleny 2 ml kyseliny dusičné ( $\text{HNO}_3$ ) z důvodu stabilizace kationtů.

Samotné měření chemického složení vod probíhalo v laboratoři geologického ústavu Univerzity Karlovy v Praze. Anionty byly měřeny na přístroji ICS – 2000 Ion chromatography systems, jedná se o kapalinovou chromatografii, kde eluentem byl hydroxid draselný (KOH). Kationty byly měřeny na přístroji ICP-OES 5110 (emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem). Ve vzorcích odebraných na rozbor vod byl změřen i obsah uranu na přístroji ICP – MS na UK Praha.

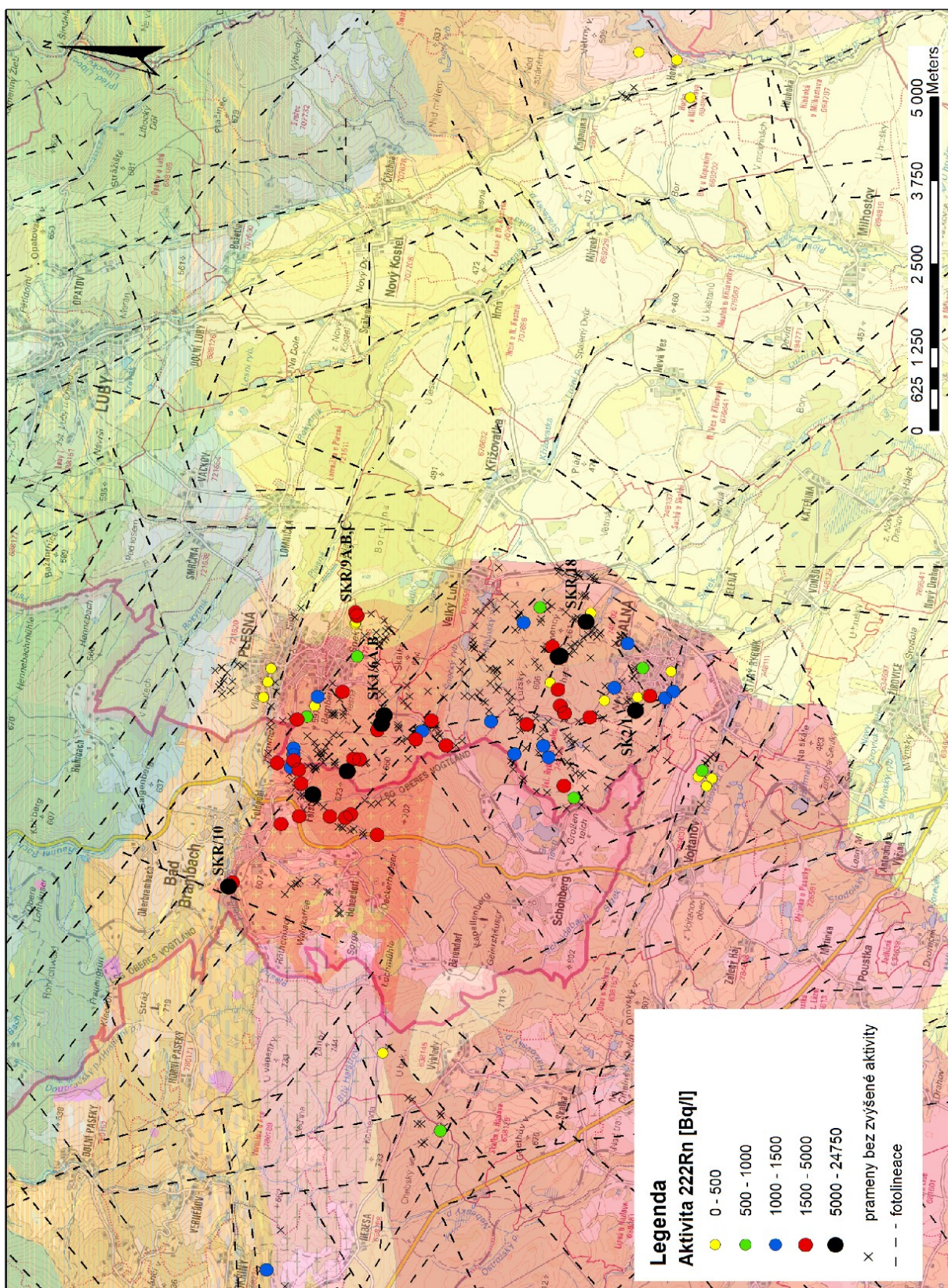
## 6 Výsledky

Od června 2016 do září 2018 probíhal v oblasti Skalná – Bad Brambach terénní průzkum na vyhledávání vod obsahujících  $^{222}\text{Rn}$ . Studované území bylo o velikosti přibližně 18 x 5 km, toto území zahrnovalo smrčinský masiv, terciér i okolní krystalinikum. Podrobněji bylo území zkoumáno na rozloze 6 x 4 km mezi Skalnou a Plesnou. Na tomto území bylo změřeno celkem 444 vodních projevů. Zvýšená úhrnná gama aktivita se vyskytovala jen u některých z nich. Na základě výsledků terénního měření bylo odebráno a změřeno celkem 117 vzorků vod na obsah  $^{222}\text{Rn}$ , z nichž 48 překračovalo hranici 1500 Bq/l, stanovenou zákonem 164/2001 Sb. V Příloze 1 je uveden celkový přehled změřených pramenů a jejich výsledky. Na Obrázku 7 jsou v rámci celého zkoumaného území uvedeny všechny změřené prameny. Na Obrázku 8 je vidět výřez nejdůležitější části zkoumaného území na výchozech muskovitické variety smrčinského granitu, kde se vyskytují zdroje s nejvyšší radioaktivitou.

Tabulka 1: Statistický přehled změřených pramenů

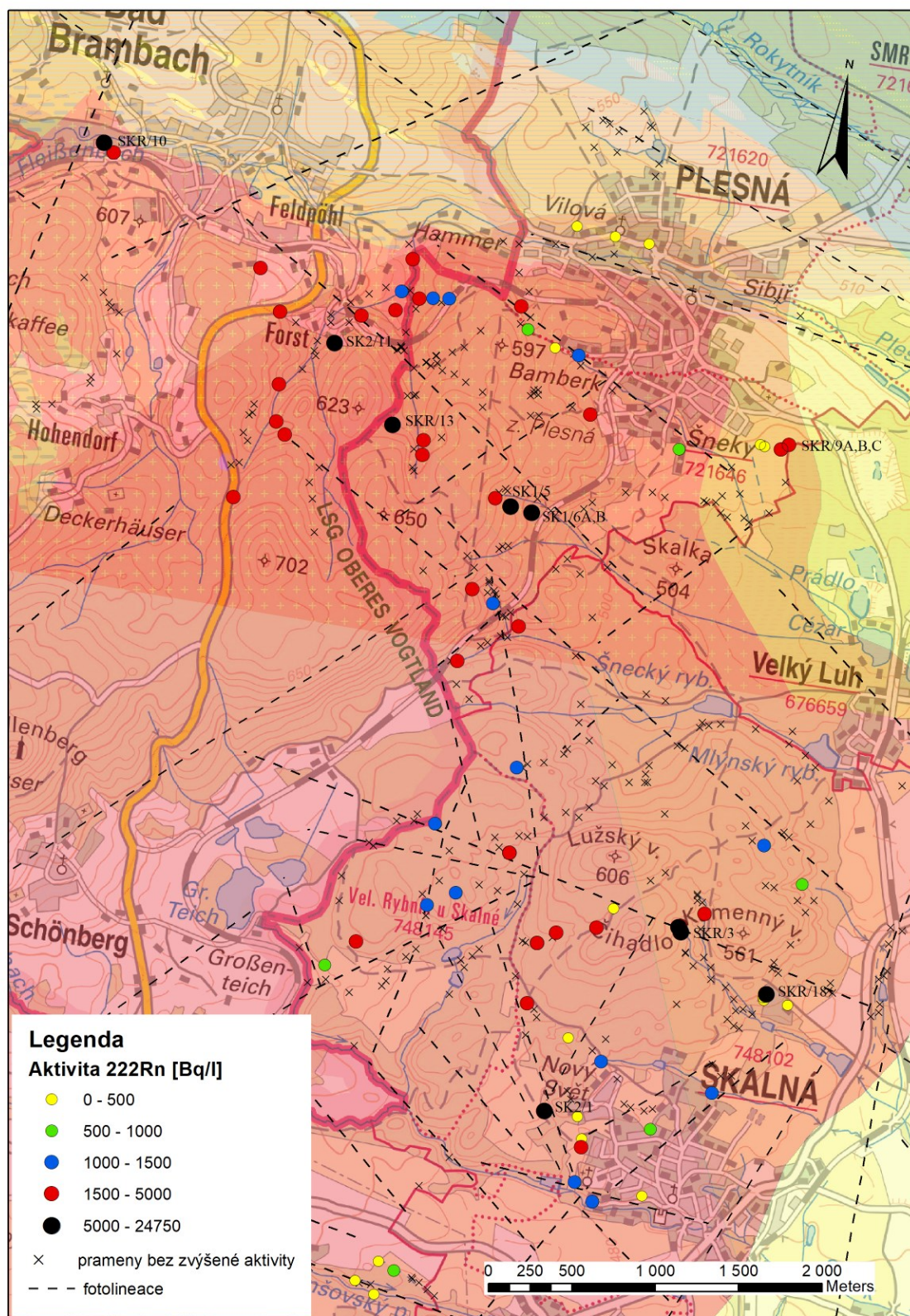
měřeno vodních zdrojů	444
měřená objemová aktivita $^{222}\text{Rn}$	117
více než 500 Bq/l	84
více než 1000 Bq/l	67
více než 1500 Bq/l	48
více než 5000 Bq/l	10
Více než 7000 Bq/l	5
Více než 10 000 Bq/l	3





Obrázek 7: Aktivita vod studovaného území, Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.





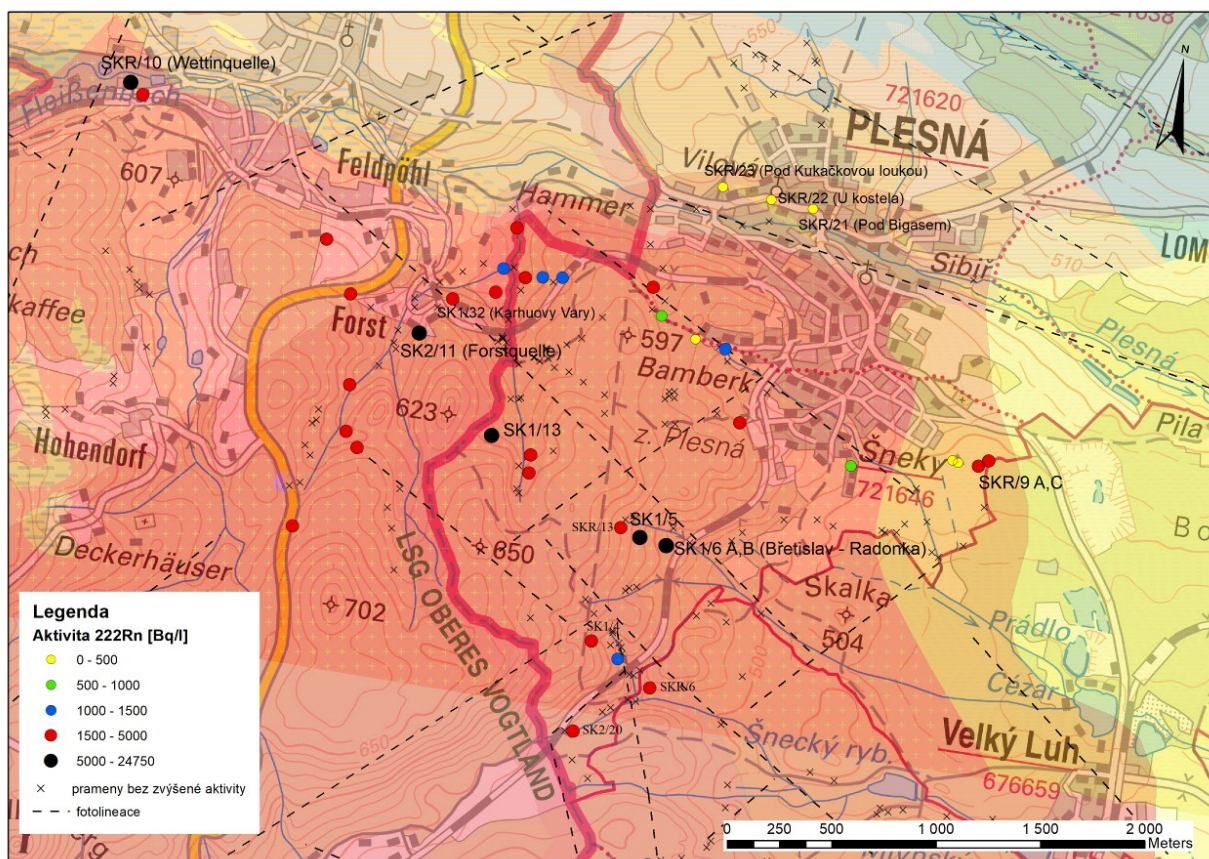
Obrázek 8: Podrobnější mapa aktivity vod území Skalná – Plesná – Bad Brambach na výchozu muskovitické variety smrčinského granitu. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.



## 6.1 Popis významných lokalit

### 6.1.1 Plesná - jih

Jižně od Plesné, v části smrčinského masívu, sklánějícího se západním směrem k chebské pánvi byla objevena celá řada vývěřů s vysokou aktivitou (Obr. 9). K významnějším patří v blízkosti státní hranice ležící vývěř SK1/13 s aktivitou 6331 Bq/l, ale velmi nízkým průtokem. V jižní části lokality je pak nutno připomenout nalezené vývěry SK1/4 (3547 Bq/l), dále silný pramen pod náspem železniční trati SK2/20 (2211 Bq/l) a pramen SKR/6 (1709 Bq/l) ležící jižně od uranového rudního výskytu Plesná.



Obrázek 9: Mapa aktivity vod oblasti Plesná – jih s vyznačenými nejdůležitějšími prameny. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.

Zajímavý gradient nárůstu aktivity pozorujeme u bezejmenného potoka ústícího do rybníka Cézár u Velkého Luhu. Zatímco vlastní pramen potoka (vývěř SKR/13) má aktivitu „pouze“ 2457 Bq/l, pak mnohem vyšších aktivit dosahují jeho dva pravostranné přítoky. Prvním je slabší, novým odvodňovacím příkopem lesní cesty stržený a tudíž bohužel stěží využitelný

zdroj SK1/5 (6357 Bq/l) a druhým je relativně velmi průtočný vývěr SK1/6A a 6B s aktivitou až 13.4 kBq/l, později nazvaný pramen Břetislav.

#### Pramen Radonka – Břetislav (SK1/A,B)

Pramen Břetislav (SK1/6A, 6B) byl objeven dne 13. 6. 2016 a nachází se asi 1 km jižně od nádraží v Plesné – Šnekách. Pramen byl pojmenován Břetislav po významném českém hydrogeologovi, který se zabýval výzkumem minerálních vod v západních Čechách, RNDr. Břetislavu Vylitovi, CSc. (1932– 2015). Druhé jméno, Radonka, dostal pramen na základě výsledků ankety vyhlášené v základní škole v Plesné, jejíž pedagožka Mgr. Alena Jelínková a žáci ze školního Ekotýmu se významně podíleli na jeho podchycení, zvelebení a další propagaci v místě.

Pramen má dvě větve se samostatným odtokem. Slabší větev SK1/6A tvoří malé přírodní jezírko (vodní oko) o hloubce 70 cm s rašelinnými stěnami a pevným písčitým dnem (Obr. 10). Jeho aktivita kolísá v rozmezí 5022 - 10170 Bq/l. Nejnižší aktivita byla zaznamenána po vydatných srážkách v červnu 2018 (2516 Bq/l), kdy docházelo k míšení s rašelinnou vodou, o čemž svědčilo i dočasné hnědé zabarvení vody v jezírku. Průtok této větve je 1,2 – 3 l/min.



Obrázek 10: Pramen SK1/6A s vodočtem, v pozadí pramen Břetislav – Radonka. Foto: Š. Turnová, 2017.



O 13 metrů západněji vyvěrá silnější větev SK1/6B s vyšším průtokem. V přírodní podobě tvořil vývěr bahenní jezírko o velikosti přibližně 1,5 x 2 m s odtokem hluboce erodovaným korytem (Obr. 11). Aktivita povrchově odebraných vzorků byla 4960 - 10088 Bq/l.



Obrázek 11: Původní vzhled vývěru pramene Břetislav – Radonka v den objevu. Foto. V. Goliáš, 2016.

Vývěr SK1/6B byl v červnu roku 2017 podpovrchově zachycen (Obr. 12) a jeho voda byla vyvedena do pramenního pomníčku (Obr. 13). Po zachycení pramene se naměřené hodnoty radonu u pramene Břetislav se pohybují v rozmezí od 11431 – 13138 Bq/l při průtoku nejčastěji okolo 2,5 l/min.



Obrázek 12: Foto z podchycování pramene Břetislav – Radonka. Foto: Š. Turnová  
2017.

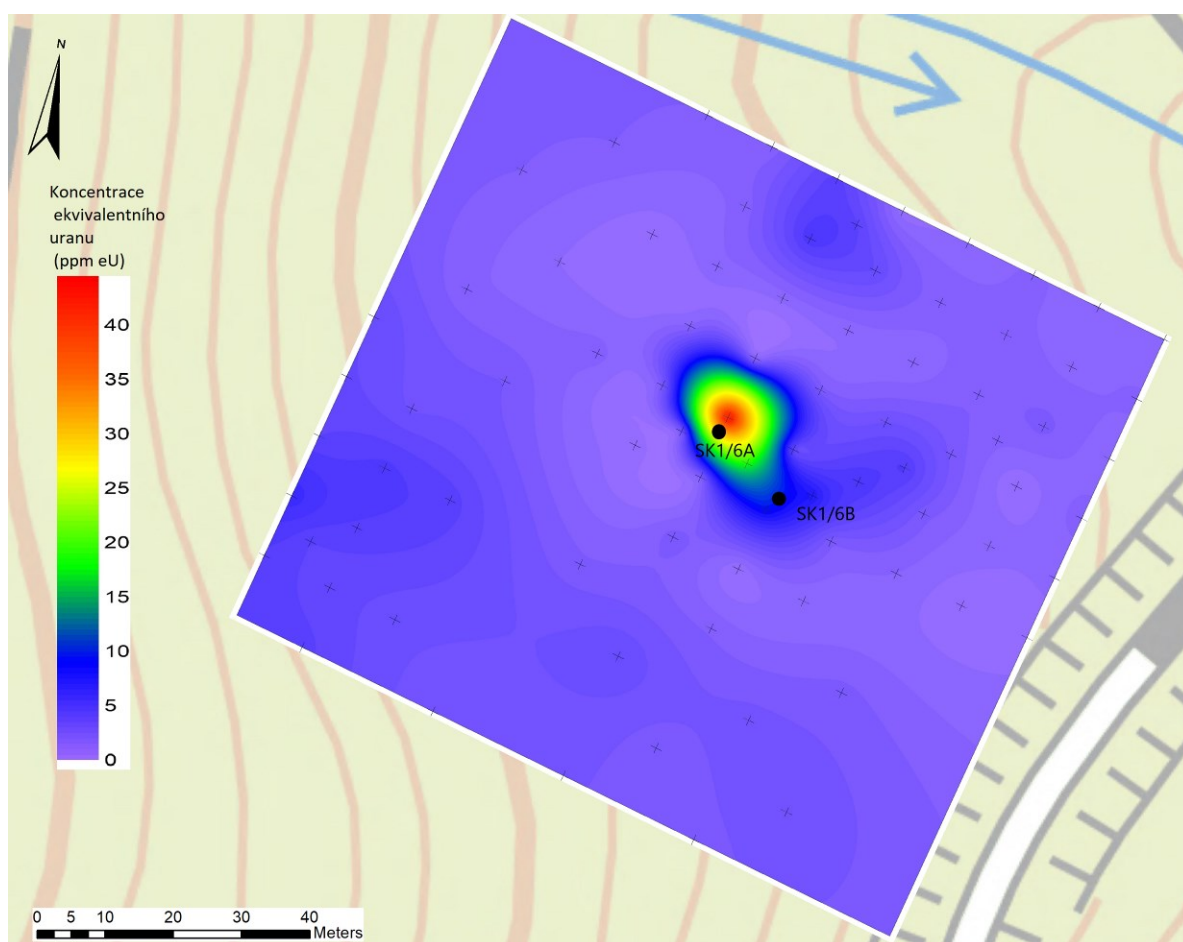


Obrázek 13: Pramen Břetislav po podchycení v červnu 2017. Foto: Š. Turnová 2017.



Na vývěrové lokalitě proběhl na ploše 100 x 100 m podrobný geofyzikální průzkum metodami terénní gama spektrometrie a VDV pro podrobnější poznání detailní geologické stavby. Výsledky metody VDV nebyly dosud vyhodnoceny.

Měřený signál koncentrace uranu je způsoben aktivitou  $^{214}\text{Bi}$ , což je krátkodobý rozpadový produkt radonu. V tomto případě proto zobrazuje úseky podmačené radioaktivní vodou. Mapa koncentrací ekvivalentního uranu naměřená (Obr. 14) gama spektrometrií tvoří bodovou anomálii v bezprostředním okolí vývěrů. Mírné zvýšení je pozorovatelné také na odtoku radioaktivních vod směrem k potoku. V dalších částech měřeného úseku nebyly zaznamenány žádné významné anomálie.

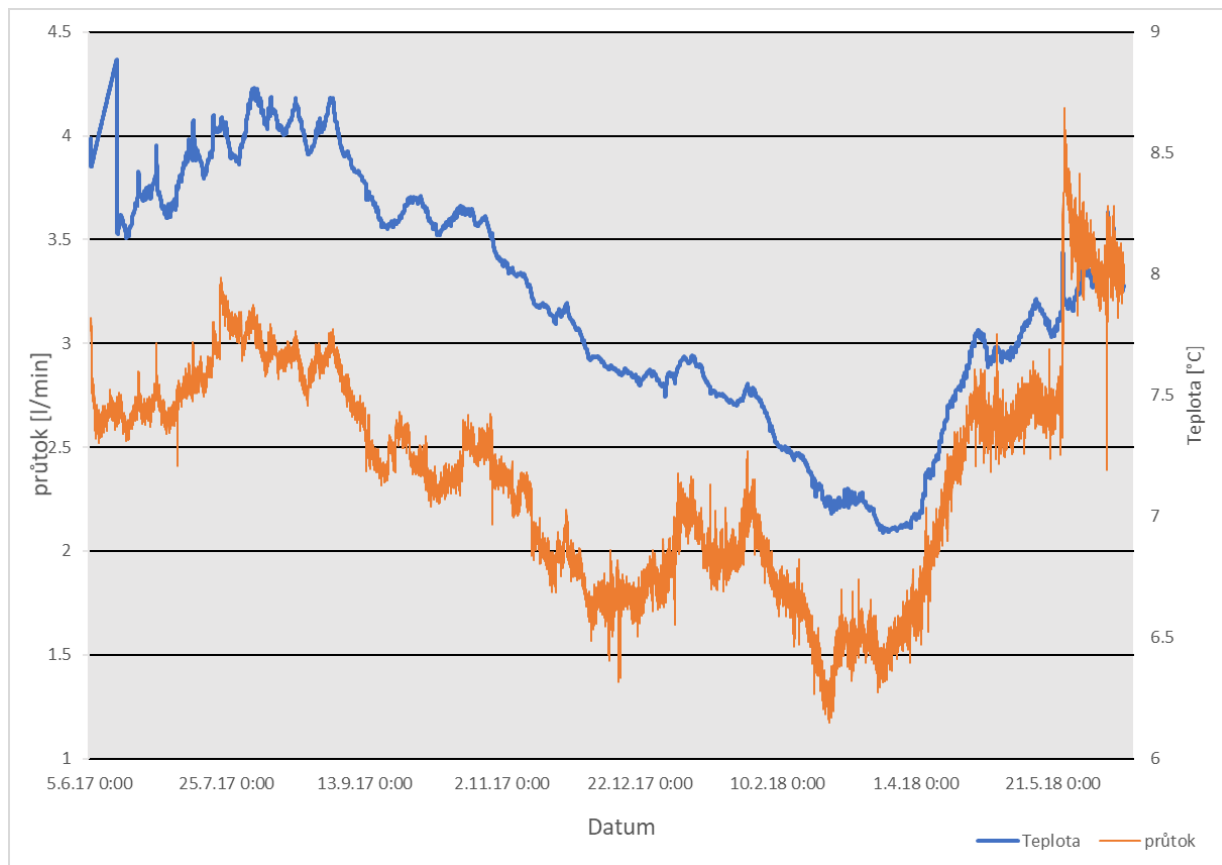


Obrázek 14: Mapa zobrazující obsah ekvivalentního uranu v okolí pramene Břetislav – Radonka (SK1/6A,B) podle výsledku terénní gama spektrometrie.

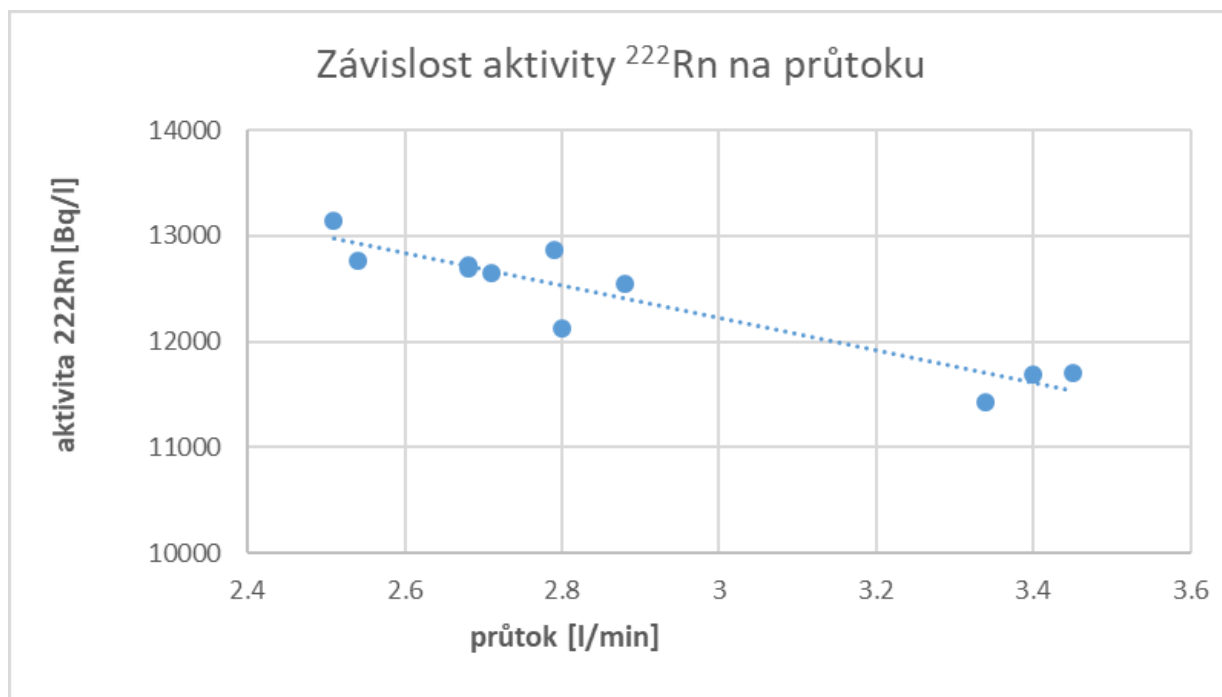
Zajímavostí je, že obě větve pramene jsou tlakově nezávislé. Při podchycování větve SK1/6B byla jeho hladina po dobu nejméně dvou dní dočasně snížena až o 82 cm. Na vývěru SK1/6A byl po dobu manipulace s hladinou SK1/6B instalován vodočet a pravidelně pozorována

úroveň hladiny. Přes malou vzdálenost (13 metrů) však tento vývěr SK1/6A na snížení hladiny u vedlejšího vývěru nijak nereagoval.

Pramen Břetislav (podchycený vývěr SK1/6B) byl a stále je dlouhodobě sledován pomocí automatického záznamu (loggeru), který měřil po dobu jednoho roku hydrostatický tlak (závislý na průtoku) a teplotu vody (Obr. 15). Měření probíhalo i při našich terénních akcích, kdy jsme měřili aktivitu, průtok a teplotu pramene. Závislost aktivity radonu ve vodě na průtoku je zobrazená na Obr. 16. Při vyšších průtocích má voda nižší aktivitu.



Obrázek 15: Graf – roční měření loggeru – průtok, teplota pramene Břetislav – Radonka.

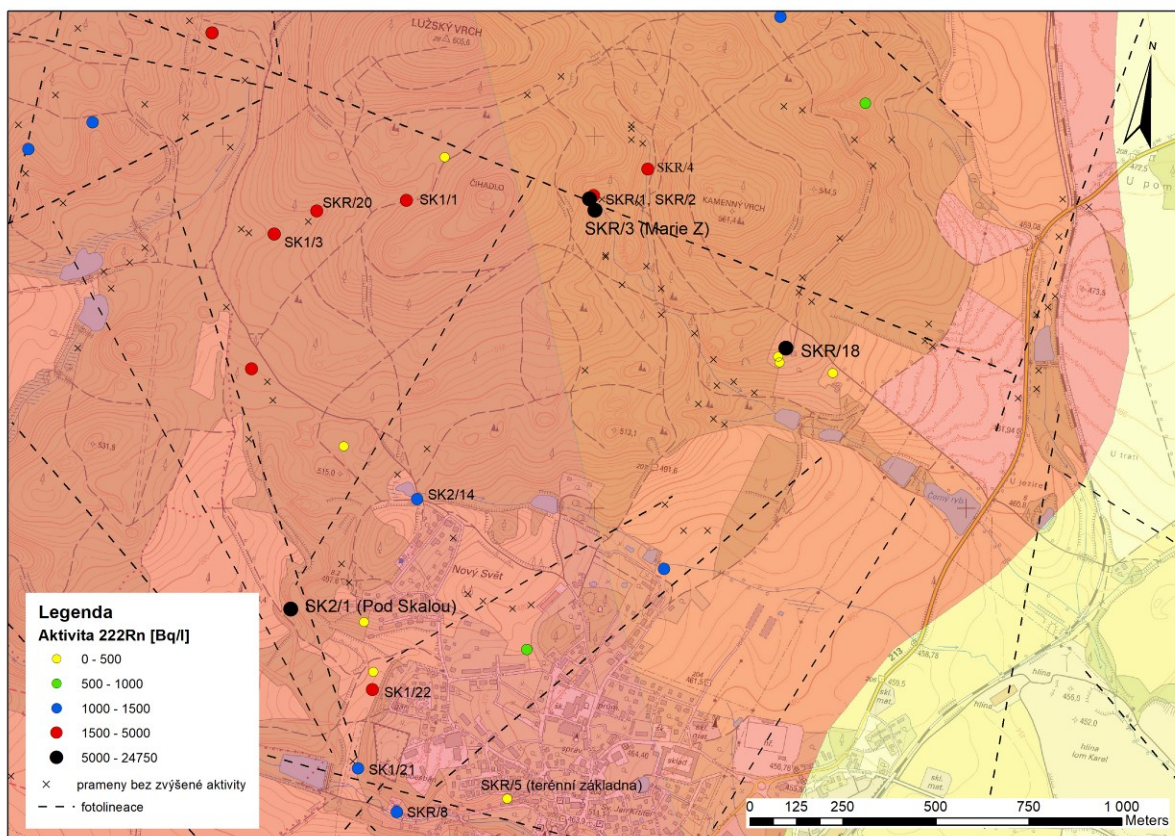


Obrázek 16: Závislost aktivity  $^{222}\text{Rn}$  na průtoku pramene Břetislav – Radonka.

### 6.1.2 Skalná – sever

Asi 1 km severně od Skalné se nachází pramenní oblast, která byla prozkoumána již v 60. letech minulého století (Zukriegelová in Kolářová 1961), tedy zde byly zde radioaktivní prameny již známy a tyto údaje byly mnohokrát přejaty do dalších, sekundárních zdrojů. Je nutno poznamenat, že v původní popis i jméno lokality jsou nesprávné, také publikovaná mapička je zcela nesmyslná. V této oblasti, nacházející se na smrčinském granitu typu G1Sm, byly znovu vyneseny na světlo a zrevidovány 3 známé zdroje, námi označené jako SKR/1, SKR/2 a SKR/3. Tato pramenní oblast (Obr. 17) byla prozkoumána 11. 6. 2016 a následně i několikrát revidována.





Obrázek 17: Aktivita vod oblasti Skalná – sever. Na mapě jsou vyznačené nejvýznamnější zdroje. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.

V uzávěru údolí vyvěrá pramen SKR/1, u kterého byla naměřena aktivita max. 6838 Bq/l při průtoku cca 0,3 l/min. Z popisované trojice pramenů je nejaktivnější, ale s nejnižším průtokem. Ihned po vývěru infiltruje do rašelinného pokryvu a vlastní tok netvoří, v suchých obdobích je jeho hladina zakleslá a vzorek nelze odebrat (Příloha 1). Vlastním pramenem potůčku je vývěr SKR/2, který se nachází asi 10 metrů od SKR/1. Má aktivitu 3090 Bq/l při průtoku 0,45 l/min (Příloha 1).

### Pramen Marie Z (SKR/3)

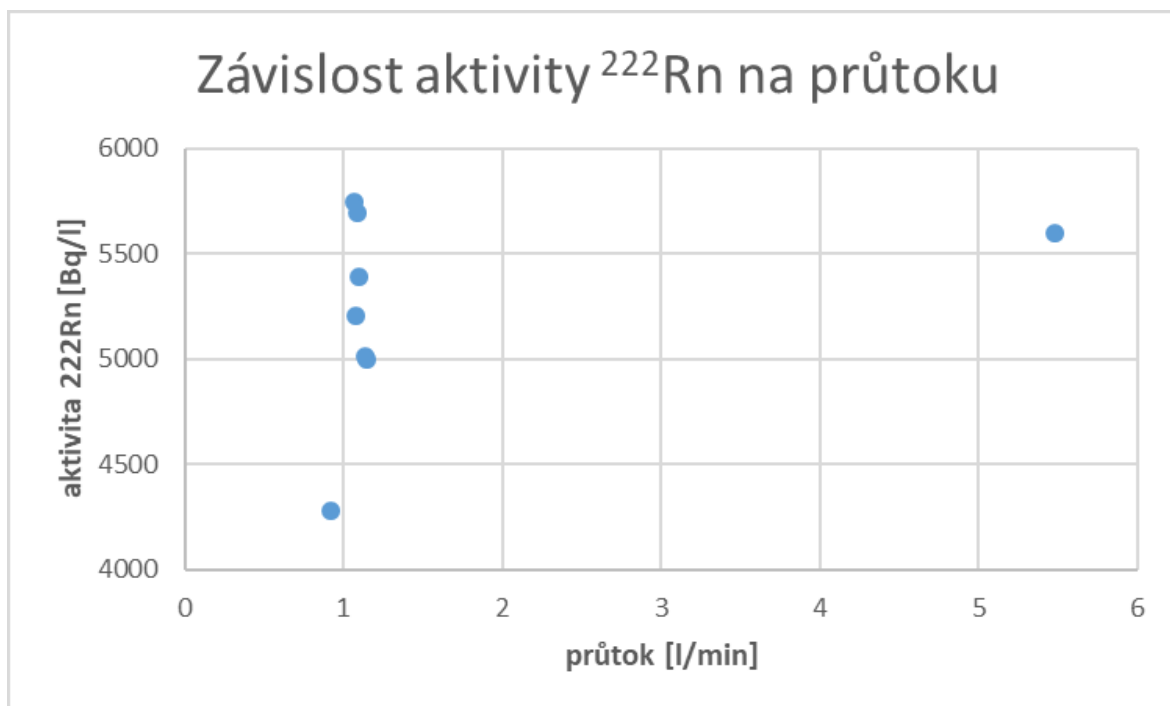
Z původně známých zdrojů je nejstabilnějším a průtokem nejvyšším pramen SKR/3. Pramen tvoří pravostranný přítok potůčku a vyvěrá na čele starého melioračního koryta na patě svahu. Nálezovou situaci blízkou přírodnímu stavu zobrazuje Obr. 18. Nejvyšší naměřená aktivita pramene SKR/3 je 5806 Bq/l, aktivita je velice překvapivě a zcela neobvykle nezávislá na průtoku, a nebyla ovlivněna ani v případě extrémního průtoku po příválových srážkách (Obr.

19). Pramen byl v září 2016 podchycen (Obr. 20) do současné podoby a nazván na počest objevitelky, radioložky Českého geologického ústavu RNDr. Marie Zukriegelové jménem Marie Z.



Obrázek 18: Vzhled vývěru pramene Marie Z (SKR/3) v nálezové situaci, po stržení hrabanky. Kameninová trubka, typický výrobek keramických závodů ve Skalné, byla na místo donesena od přístupové cesty ve vedlejším údolí. Je pravděpodobně pozůstatkem nejstaršího vodovodu, značeného na tomto místě v mapách z roku 1920 již jako „Alter Rohrleitung“ (archiv CHEVAK a.s.).





Obrázek 19: Závislost aktivity  $^{222}\text{Rn}$  na průtoku pramene Marie Z.



Obrázek 20: Současný stav pramene Marie Z po podchycení v září 2016. Foto: Š. Turnová 2016

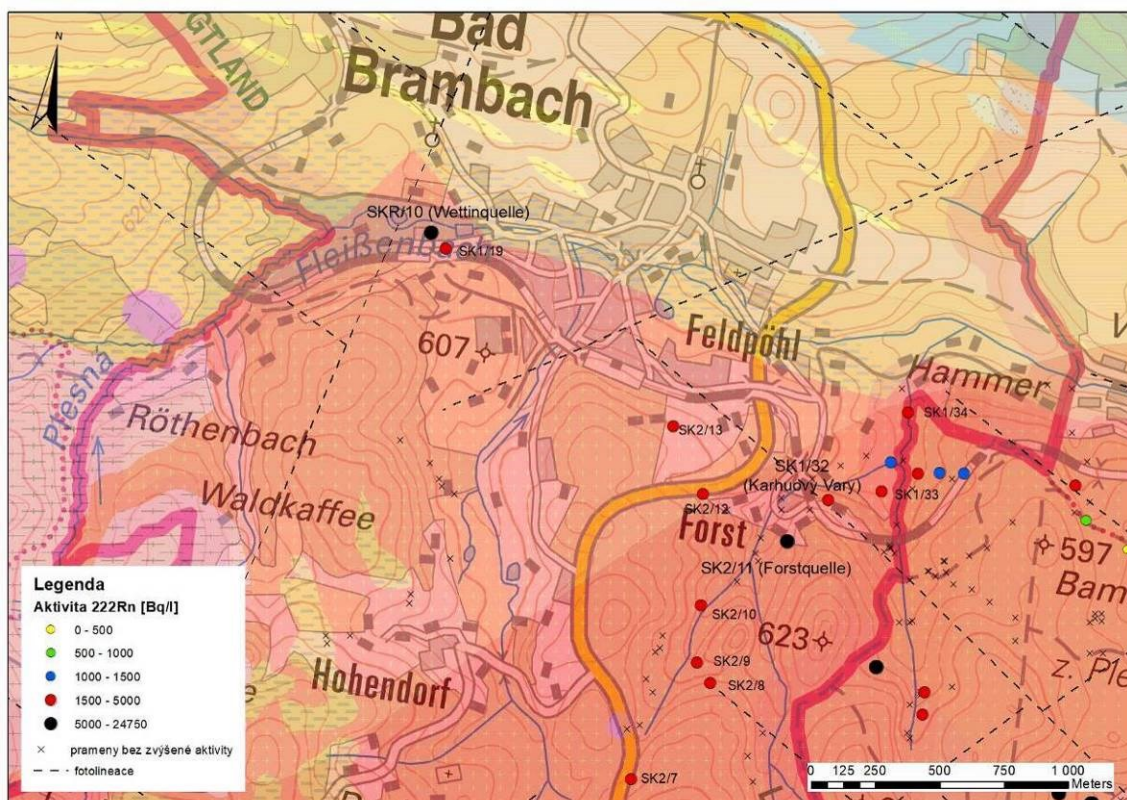
V paralelním údolí s lesní silničkou, odkud je původní lokalita přes ploché sedlo také nejlépe přístupná, byl navíc objeven ještě zdroj SKR/4 s aktivitou 4134 Bq/l, při průtoku 0,3 l/min.

Odhadem 300 metrů západně od této pramenní oblasti se nachází první jímací objekt vodovodu (SK1/2) pod Lužským vrchem. Blíže je popsán ve stati o skalenském vodovodu.

Dalším významným objektem v úseku Skalná – sever je nový, 50 metrů hluboký vrt v soukromých rukou (zdroj SKR/18). Voda z tohoto vrtu dosahovala aktivity až 7752 Bq/l. V čase našich návštěv byl vrt trvale čerpán, při periodickém spouštění a vypínání čerpadla hladinovým čidlem v automatizovaném režimu. Z měření délky periody zapnutí / vypnutí a průtoku na výtoku vychází průměrný čerpaný výkon 4,0 l/min. Voda z tohoto vrtu je využívána pro hospodářské účely a radon je z ní záměrně odstraňován primitivní aerací zahradním rozprašovačem.

### 6.1.3 Německá část území a okolí Bad Brambach

Intenzivní průzkum probíhal také na německé části území, protože i geologická stavba zemskou hranici nerespektuje (Obr. 21).



Obrázek 21: Aktivita vod na německé části území. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.



Lázeňské městečko Bad Brambach se nachází kilometr na západ od Plesné. Lázně Bad Brambach se nacházejí na smrčinském granitu typu G1Sm (muskovitický granitoid). Zde vyvěrá nejvýznamnější zdroj celé námi zkoumané oblasti, pramen Wettingquelle. Většina zdejších zdrojů byla využívána již historicky. Vysoká radioaktivita zdroje byla rozpoznána v roce 1911 prof. Carlem Schiffnerem z Báňské akademie ve Freibergu (Weidig 1912). Radioaktivita Wettingquelle je využívána k terapii od roku 1912. Je to „zkřížená“ mineralizovaná kyselka s vysokým obsahem radonu a průtokem 1,3 – 4 l/min (Koch a kol. 2005). Tento pramen je i nyní využíván k lázeňským účelům, převážně k pitným kúrám, které jsou dle slov lázeňských zaměstnanců ordinovány jako doplňkové ke kúrám koupacím ve vodách dalších pramenů, nejčastěji v rozmezí „pouze“ 1.4 – 2 kBq/l  $^{222}\text{Rn}$ . Pramen Wettingquelle vyvěrá ve sklepení centrálního lázeňského pitného pavilonu, ostatní prameny (Eisenquelle, Schillerquelle, Obere a Untere Grenzquelle jsou do tohoto objektu svedeny do společného stojanu. (Obr. 22). Odběr Wettingquelle je zpoplatněn 1 EUR/litr, další jsou k odběru zdarma.



Obrázek 22: Společný stojan na odběr lázeňských pramenů v Bad Brambach. Foto: Š. Turnová 2018.

Aktivita pramene Wettingquelle, na výtoku z pitného stojanu, je 13573 Bq/l. Při natáčení pohárku dochází k masivní evazi  $\text{CO}_2$  a radon je z vody strháván do unikajícího plynu.

Díky ochotě pracovníků lázní nám byla umožněna exkurze do podzemí pitného pavilonu. Aktivita pramene Wettingquelle na tomto místě, předtím, než je upravován, je 24750 Bq/l. Fyzikální a chemické parametry pramene Wettingquelle jsou monitorovány přímo u vývěru v podzemní laboratoři (Obr. 23), která se nachází pod pitným pavilonem. Aktivita radonu není průběžně měřena. Je zjišťována periodicky laboratorně z odebraných vzorků. Aktivita dalších zdrojů nebyla zjišťována. Je také v periodických intervalech měřena lázněmi.



Obrázek 23: Podzemní laboratoř pramene Wettingquelle. Foto: Ivo Hlásenský 2018

V lázeňském parku, přímo u podjezdu k parkovišti za tratí se nachází vývěr pramene studené, málo mineralizované vody, vyvedený do výtoku z litinové pumpy a žulového koryta s tesaným letopočtem 1783 (Obr 24). V Příloze 1 nese označení SK1/19 a jeho aktivita je 1996 Bq/l.





Obrázek 24: Pramen SK1/19, který se nachází u podjezdu pod tratí v lázeňském parku Bad Brambachu, Foto: Ivo Hlásenský 2018

Nejvíce je německé území prozkoumáno v oblasti v okolí osady Forst. Celkem zde bylo nalezeno 9 vývěřů, překračujících hranici 1500 Bq/l a pouze jeden pramen měřený na německém území měl aktivitu nižší než 1500 Bq/l, ale ne o moc; pramen SK1/31 vykázal aktivitu 1497 Bq/l. Na Obr. 21 je přehled všech těchto pramenů. 8 z těchto 9 pramenů se nachází na smrčinském granitu typu G1Sm, avšak jeden (SK2/7) se dle mapy Vejnara (1960) již pravděpodobně nachází na typu G1S, což je biotiticko – muskovitická žula. Zdroj SK2/7 je studna nacházející se u hlavní silnice. Z této studny je vedena přepadová trubka, do které je zachycen jako pramen potůčku. Průtok má 1,8 l/min a aktivitu 2653 Bq/l.

Velmi významný zdroj se nachází přímo v městské části Forst. Pramen na soukromém pozemku (SK2/11) využívaný pro zásobování usedlosti, má nejvyšší měřenou aktivitu 5116 Bq/l při průtoku 12 l/min. Tento vývěř radioaktivní vody jsme pracovně pojmenovali Forstquelle. Překvapený majitel neměl o vysoké aktivitě vody ponětí, těšil se však subjektivně dobrému zdraví.

Dalším významným vývěřem změřeným na německém území je SK1/32, který byl po objeviteli pojmenován Karhuovy Vary. Tento vývěř tvoří bažinku s výtokem a nachází se pod domem, nedaleko náspu trati vedoucí z Plesné do Bad Brambachu. Aktivita tohoto vývěru je

3315 Bq/l při průtoku 1,2 l/min. Vývěr částečně znehodnocuje divoká skládka v malém žulovém lůmku, přímo nad pramenem. Hodnoty EC ani Eh však na větší znečištění neukazují.

Další významný zdroj se nachází pravděpodobně pod tělesem nově vybudované hlavní silnice do Plavna. V sedle, nedaleko zářezu silnice, je z meliorační trubky velkého průměru vyveden zdroj označený jako SK2/12 (Obr. 25) s aktivitou 1552 Bq/l a průtokem 30 l/min. Tento zdroj impozantního průtoku je však silně odplyněn delším kontaktem se vzduchem při průtoku v profilovaném potrubí. Na původní vysokou aktivitu upomíná rozlehlá a intenzivní radioaktivní „stopa“ gama záření na výtoku vody pod násep silnice, způsobená krátkodobými produkty radonu, které z vody uniknout již nemohou.



Obrázek 25: Vývěr pramene SK2/12 pod tělesem nové silnice. Foto: V. Goliáš 2016

Další pramen sloužil i jako porovnávací měření. Dvě skupiny v dotykovém území nezávisle na sobě shodou okolností našly a vzorkovaly stejný pramen pod vývratem. Skupina 1 vzorek, označený kódem SK1/12, odebrala přesně v půl dvanácté. Skupina číslo 2, odebrala tento pramen pod kódem SK2/8 o hodinu a 8 minut později. Večer na terénní základně byly změřeny oba vzorky. SK1/12 měl aktivitu 2576 Bq/l a SK2/8 vykázal aktivitu 3012 Bq/l.



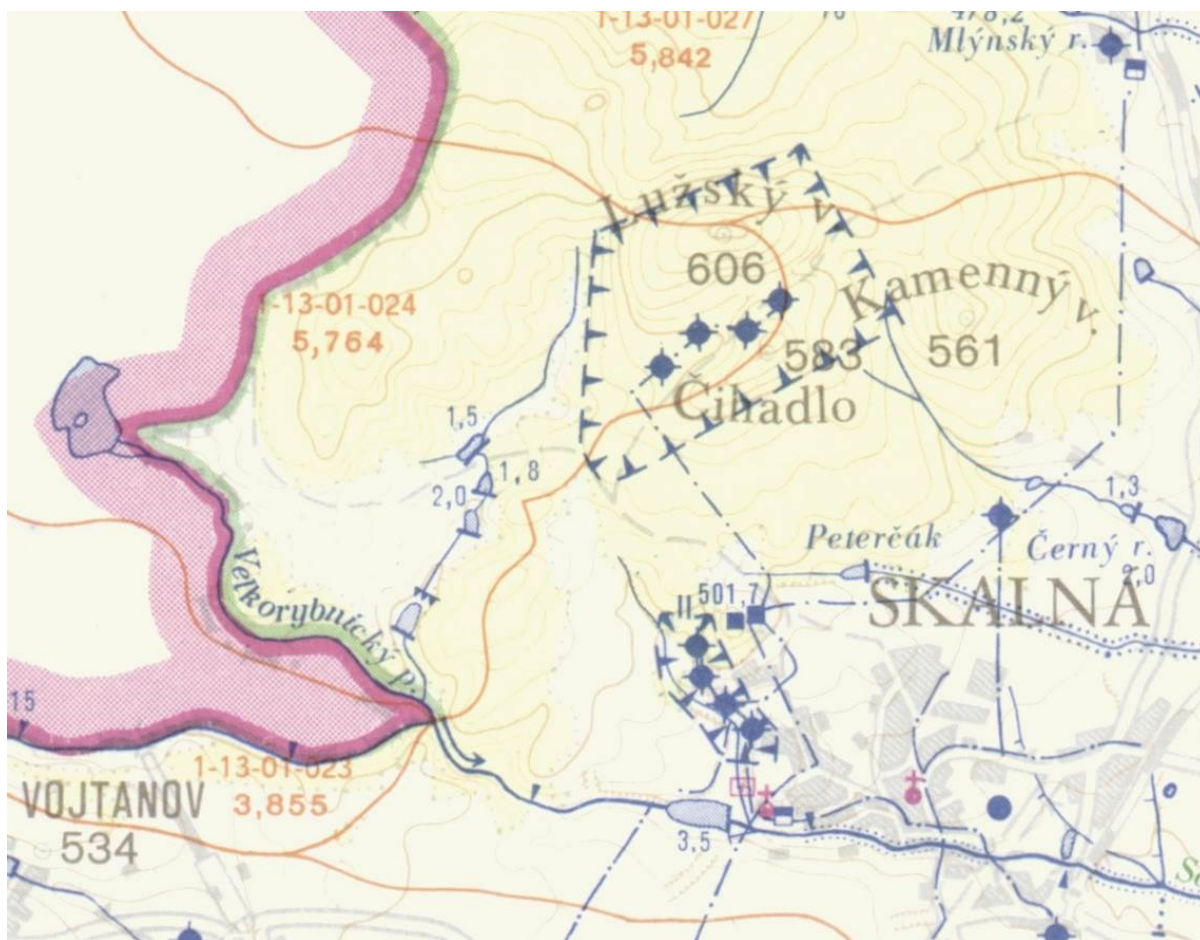
Rozdíl v těchto měřeních může být zapříčiněn i způsobem odběru, pravděpodobně se však projevil vyšší podíl stagnantnější a odplyněnější vody v prvním vzorku při stržení hladiny ihned po rozkopání pramene. Čerstvější voda po ustálení tak vykazovala dle očekávání aktivitu znatelně vyšší.

Zbylých 5 pramenů nalezených na německém území má aktivitu od 2294 do 3130 Bq/l (SK2/9). Podrobnější přehled o těchto pramenech v Příloze 1.

## 6.2 Historický vodovod ve Skalné

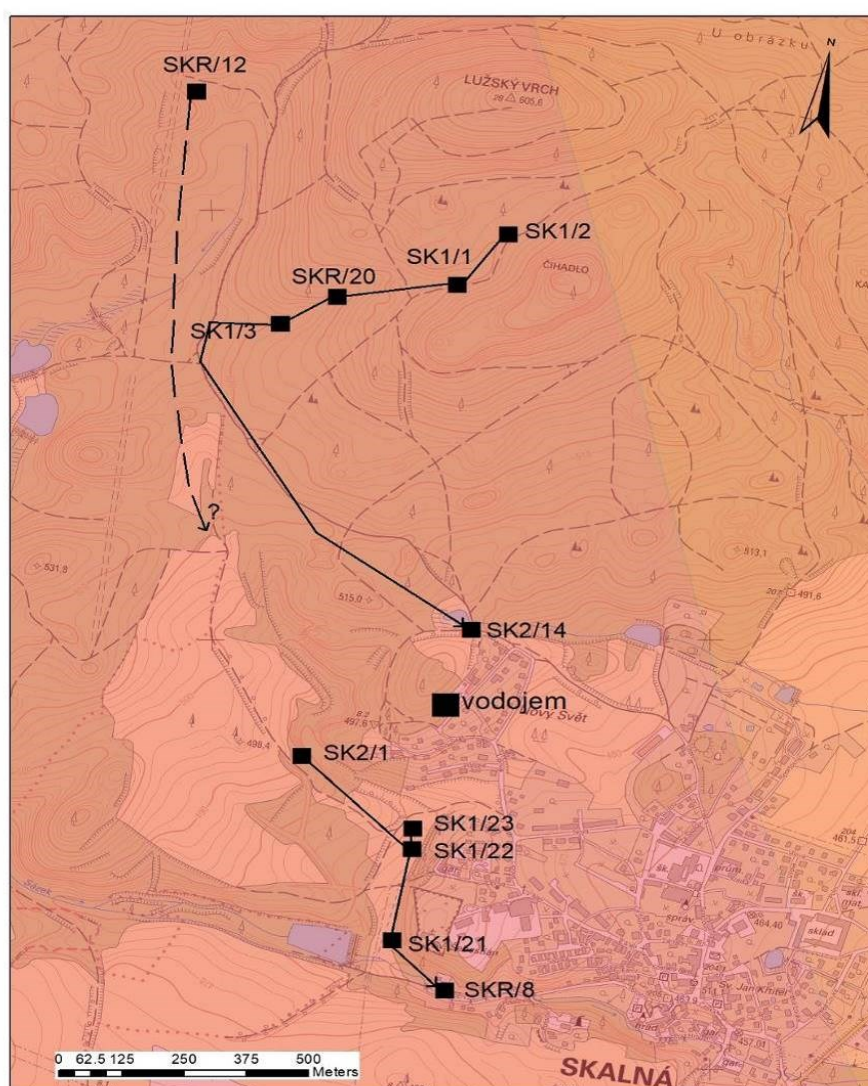
Pro zajištění pitné vody pro obyvatele Skalné byl na počátku 20. století vystavěn vodovod ve dvou stavebních fázích. Klíčové informace pocházejí z archívu firmy CHEVAK Cheb a.s., pobočky Aš a historického městského archívu deponovaného v SOA Plzeň, pobočce v Chebu.

K vyhledávání vodárenských objektů jsme využili dostupnou vodohospodářskou mapu (Obr. 26).



Obrázek 26: Vodohospodářská mapa Skalné (staženo z heis.vuv.cz).

Vodovod má dvě samostatné větve (Obr. 27). O stavbu starší větve pod Lužským vrchem (dříve Telegraf) se ucházelo několik firem. Byly to firmy Ernst Justel z Ústí na Labem, G. Rumpel z Teplic a Rudolf Braun z Plané. Vyhrála firma R. Braun z Plané s projektem z roku 1911, která vodovod roku 1913 dokončila a předala do užívání městu Skalná. Stavba zahrnovala 4 jímací objekty a jednu vodárnu o objemu 2 x 500m<sup>3</sup>. Jímací objekty byly vyhloubené a vybetonované prostory (kobky) o rozměrech přibližně 2,5 m x 2 m s hloubkou 3 m. Ve většině objektů se nacházely 3 nově kameninovými či ocelovými péry zachycené prameny a jeden přítok z předchozího, výše ležícího objektu.



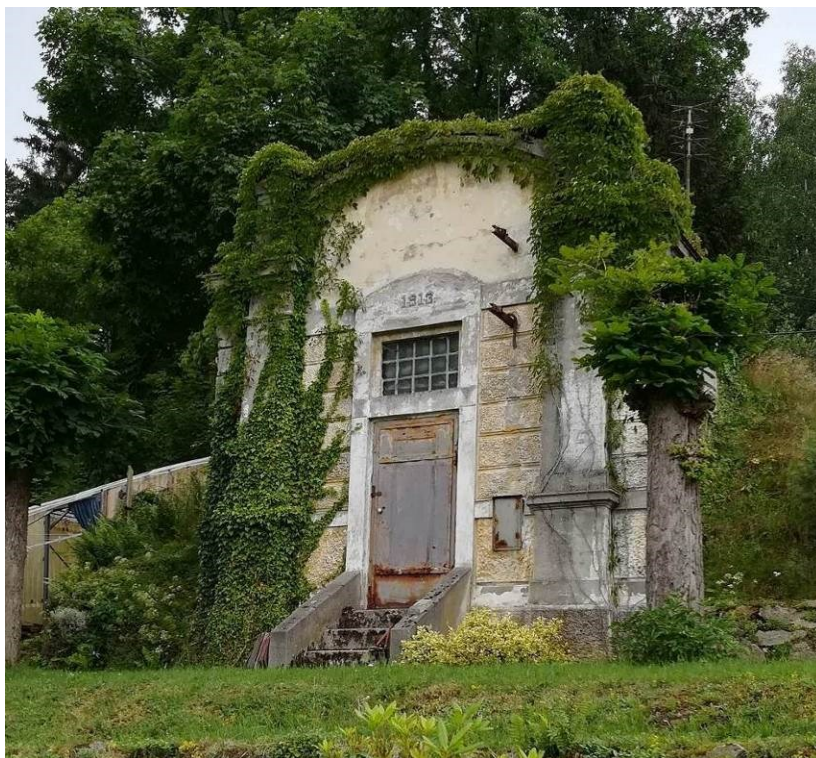
Obrázek 27: Mapa starého skalenského vodovodu s kódovým označením jednotlivých objektů. Nahoře část pod Lužským vrchem i se zakresleným objektem v Mordově rokli (SKR/12), který ale nemá propojení s tímto vodovodem. Větev Skalná – Nový svět končí v čerpací stanici (SKR/8). Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arccgis/services>).

Při terénním průzkumu byly zrevidovány všechny objekty tohoto vodovodu. První, nejvýše ležící objekt (SK1/2) je zatopen vodou a z tohoto důvodu nebylo možné provést měření přítoků zachycených v tomto objektu. Pravděpodobným důvodem zatopení tohoto objektu je překopnutí odtokové i havarijní trubky a následnému ucpání odtoku z objektu při uranovém průzkumu v roce 1977, kdy bylo prameniště (anomálie nalezená v roce 1967 vyhledávacím průzkumem metodou gama v jamkách) znovu revidováno v rámci akce „KORA“ (Komplexní oceňování radiometrických anomálií) hlubinným gama průzkumem těžší vrtnou soupravou EP-15. Aktivita stagnantní, do výšky cca 2 m nastoupané vody v objektu SK1/2 byla pouze 457 Bq/l. Pokus o zprůtočnění odtoku čištěním sacího koše byl neúspěšný.

V dalším objektu větve vodovodu pod Lužským Vrchem (SK1/1) bylo možné změřit dva přítoky ze tří, jeden měl hodnotu aktivity 1169 Bq/l a druhý 2536 Bq/l. Poslední přítok netekl a je to zřejmě přívod z horního objektu (SK1/2). Třetí objekt (SKR/20) v pořadí se dlouho nedařilo najít, avšak na předposlední akci v červnu 2018 se to podařilo, bohužel i tento objekt měl ucpaný odtok a byl za vysokého hydrologického stavu zaplněný vodou, změřená aktivita byla 1122 Bq/l. V září 2018 byl tento objekt znovu zrevidován a tentokrát se podařilo změřit všechny 4 přítoky. Nejvýznamnější z nich byl SKR/20 D, který měl aktivitu 3167 Bq/l, ostatní tři přítoky měly aktivitu nižší než 1500 Bq/l (Příloha 1). Nejspodnější objekt (SK1/3) byl nejpřístupnější a nejudržovanější, nachází se pouze 50 metrů od hlavní lesní cesty. Nejvýznamnější z těchto přítoků byly SK1/3 C, který měl aktivitu 4279 Bq/l, který je také nejaktivnějším přítokem do severní větve vodovodu pod Lužským vrchem a za zmínku stojí i přítok SK1/3 D s naměřenou aktivitou 1519 Bq/l.

Z objektu, který se nacházel pod kopcem (SK1/3), byla vedena voda do vodárny, která se nacházela na Novém Světě (část obce Skalná). Tato vodárna (Obr. 28) měla dvě velké nádrže o obsahu 500 m<sup>3</sup> a dále rozvod do obce Skalná. V této staré vodárně se nacházela nějakou dobu i seismologická stanice, která zde ovšem fungovala až po skončení provozu vodárny.





Obrázek 28: Současný stav staré vodárny na Novém světě z roku 1913. Bývalá vodárna se dnes nachází na soukromém pozemku. Foto: Š. Turnová 2018.

Dnes je potrubí přetáto a vyvedeno pod rybníkem na severozápadním okraji Nového Světa. Aktivita této směsné a částečně odplyněné vody, na odvrženém výtoku z vodovodu (objekt SK2/14), byla 1145 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ .

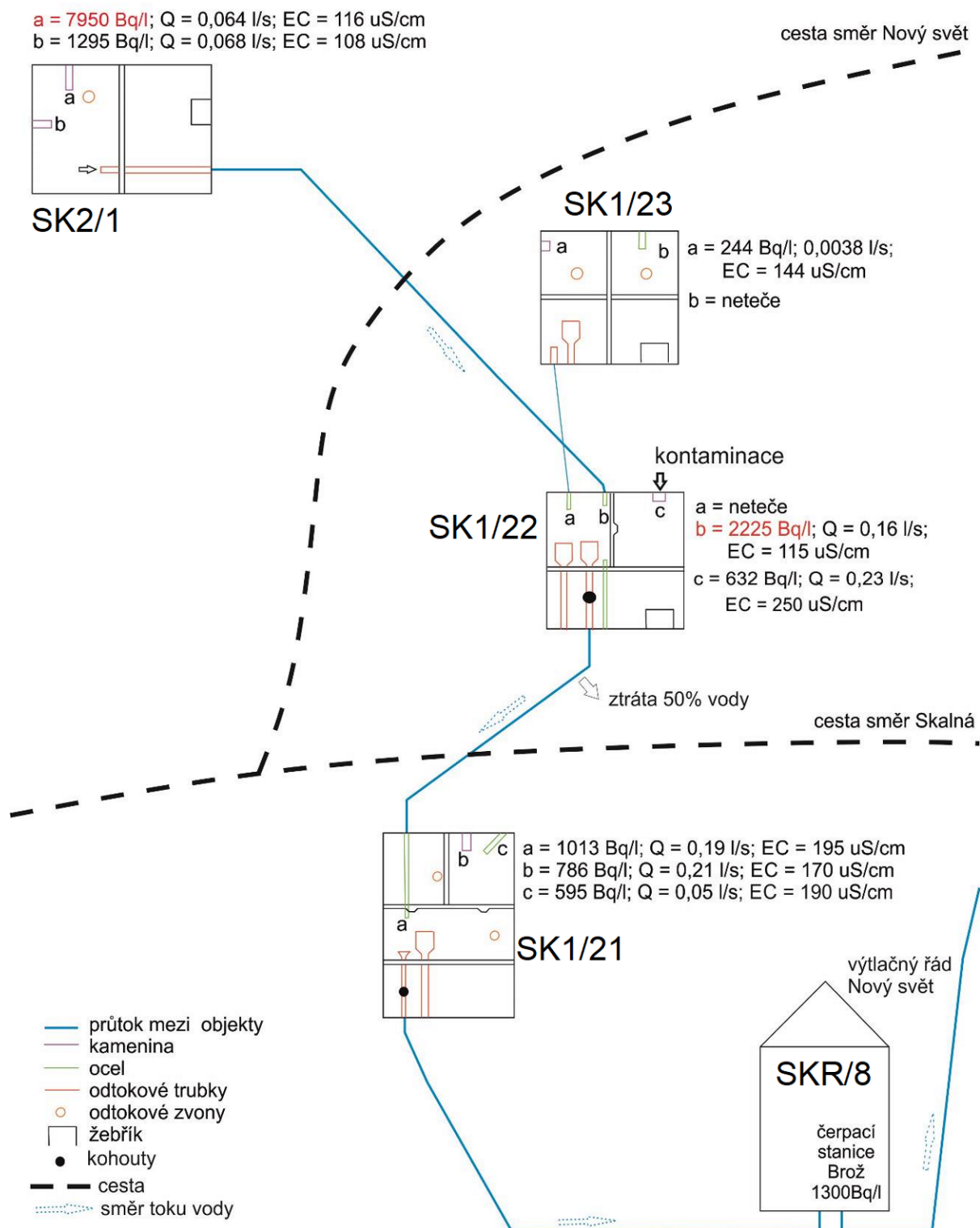
Zcela samostatně stojí objekt ukrytý v Mordově rokli (SKR/12), na který jsme byli upozorněni až místním znalcem. Tento objekt není zakreslen ani do vodohospodářské mapy. Objekt se nachází mimo území vodovodu pod Lužským vrchem, přibližně 800 m severozápadně od SK1/3 s minimálním rozdílem nadmořské výšky od tohoto objektu. Postaven byl pravděpodobně současně s vodovodem pod Lužským vrchem, jelikož jeho architektonický styl je shodný. I v Mordově rokli byly změřeny prameny se zvýšenou aktivitou a to: 2613 Bq/l, 1538 Bq/l a 1036 Bq/l. Zajímavostí je, že jeden z přítoků má o 0,5 °C vyšší teplotu než ostatní a také dvojnásobnou konduktivitu. Z vody se také sráží mírný světlý precipitát. Je možné, že představuje přítok směsné vody s vodou minerální.

V červnu roku 2018 byla provedena stopovací zkouška. Jeden kilogram soli byl rozmíchán v kýblu s vodou a nalit do odtokové trubky v objektu v Mordově rokli (SKR/12). Byla sledována konduktivita vody na výtoku ze starého vodovodu pod rybníkem (SK2/14).

Nedošlo k žádnému zvýšení vodivosti, stopovací byla proto po dvou hodinách ukončena. Voda z tohoto objektu tedy není v žádném případě zaústěna do hlavní větve. Je tedy možné, že si jej nechal tehdy postavit jako soukromý objekt ústící přímo do domu některých z bohatších obyvatel Skalné. O tomto objektu (SKR/12) jsme nenalezli informace ani v archivu CHEVAK a.s., ani v archivu SOA Plzeň, pobočka Cheb. Objekt je však udržován a pravděpodobně využíván pro zásobování některého ze soukromých objektů i dodnes.

Starší část vodovodu byla plánována pro 3000 obyvatel, počet obyvatel Skalné ovšem narůstal a tento vodovod nestačil pokrýt potřebu obyvatel. Proto byla dostavena, o 10 let později, druhá část západně od Skalné - Nového Světa. Tato část měla posílit vodovod ve Skalné. Mladší část vodovodu byla projektována roku 1921 firmou G.Rumpel z Teplic a postavena roku 1923 firmou Rudolf Braun z Plané. Stejně jako u vodovodu pod Lužským vrchem (Telegraf) se i zde se nacházejí čtyři jímací objekty. Rozdíl je v tom, že mají mnohem menší rozdíl nadmořské výšky než starší větev vodovodu. Průtoky jsou zde nižší a objekty jsou také architektonicky odlišné od staršího vodovodu. Jsou mnohem menší, nejsou tak hluboké a každý je tvarově jiný. Objekty se dále liší počtem přítoků i provedením trubek. Ve starší větvi byly přítokové trubky ocelové, zde jsou jak ocelové, tak keramické. Tento vodovod je mnohem přístupnější než vodovod pod Lužským vrchem, je i v mnohem zachovalejším stavu a bylo zde možno provést stopovací zkoušku nalitím 2 kg rozpuštěného NaCl, pomocí které bylo možno vysledovat propojení a cestu vody jednotlivými objekty. Také bylo možno kalkulovat ztráty vody i čerání (únik) radonu při transportu vody se vzduchem (Obr. 29).

## prameniště Skalná - Nový svět



Obrázek 29: Mapa propojení a schéma vnitřního uspořádání jímacích objektů mladší, západní větve starého skalenského vodovodu s výsledky provedeného stopovacího pokusu.

Jelikož se vyústění tohoto vodovodu nachází pod úrovní hlavní vodárny (Nový Svět), bylo nutné tam vodu čerpat ze stanice, která se nachází na západním okraji Skalné nad potokem, dnes na zahradě pana Brože. Tato novější část vodovodu ale musela být později odpojena, protože na Novém Světě, nad jímacími objekty, byly postaveny nové rodinné domky a vodovod začal být kontaminován splaškovou vodou. Ta však proniká až do jednoho z nižších objektů (SK1/22 C), kde má jeden z přítoků zřetelně vyšší EC i nižší Eh.

#### Pramen Pod Skalou (SK2/1)

I v druhé větvi vodovodu byly změřeny vody se zvýšeným obsahem radonu. Nejvýznamnější z nich je pramen námi nazvaný Pod skalou (SK2/1), podle výrazné žulové ostrožny, pod níž vyvěrá. Jeho aktivita se pohybuje od 4248 (před podchycením) až do 7950 Bq/l (po podchycení v září 2018). Tedy jde o nejaktivnější z přítoků do obou větví skalenského vodovodu. Pramen Pod skalou, měl být podchycen již v červnu 2018, ale z důvodu velmi vysokého hydrologického stavu po přivalových srážkách a ucpání havarijního odtoku byla jeho jímka (Obr. 30) zcela zaplněna s přelivem okolo 2 l/s a proto byla akce odložena. Pramen Pod skalou byl podchycen v září 2018 do současné podoby (Obr. 31). Byla položena nejen trubka jímání přítoku pramene (průměr 25 mm), ale i náhradní trubka havarijního odtoku průměru 110 mm. Obě trubky ústí cca 30 m pod jímacím objektem. Svoji aktivitou (7 – 8 kBq/l  $^{222}\text{Rn}$  při průtoku 1,5 – 1,8 l/min) je pramen Pod Skalou po prameni Břetislav druhým nejaktivnějším veřejně přístupným zdrojem radonové minerální vody v České republice. V pramenní kobce začala být budována podzemní laboratoř (Obr. 32). V současné době je sledována jeho teplota a průtok, v plánu je měření dalších parametrů. Do doby odevzdání diplomové práce však ještě nebyla data k dispozici.

Většina vody z této větve odtéká otevřeným havarijním odtokem z nejnižšího objektu přímo do potoka. Aktivita slabého přítoku vody v bývalé přečerpávací stanici byla 1305 Bq/l.





Obrázek 30: Pramen Pod skalou je zachycen uvnitř tohoto vodárenského objektu (SK2/1). Foto: Š.Turnová 2018.





Obrázek 31: Samospádový výtok pramene Pod skalou po podchycení a vybudování pramenní mohyly, cca 30 m pod jímacím objektem SK2/1, v září 2018, Foto: Š. Turnová 2018.

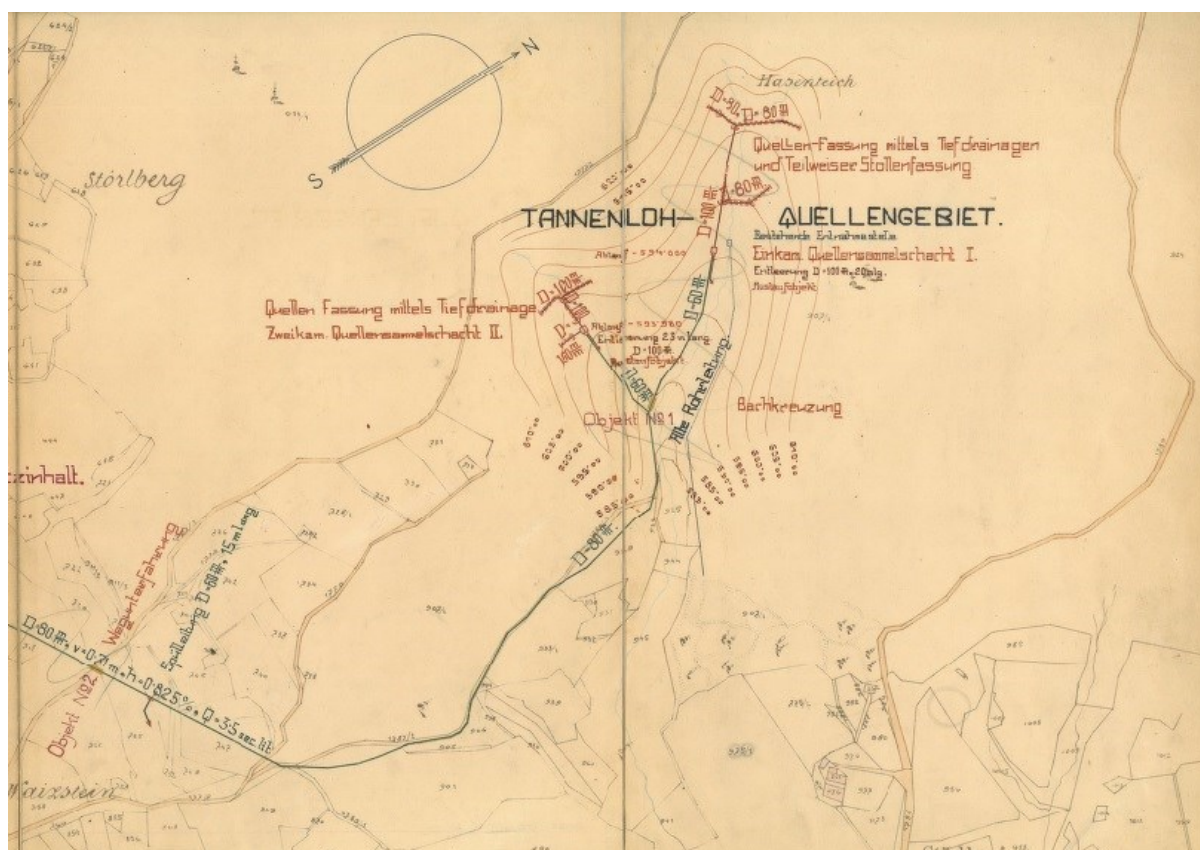


Obrázek 32: Napojení a vyvedení pramene Pod skalou na staré jímání v objektu SK2/1, podzemní laboratoř.  
Foto: V. Goliáš 2018.

Je nutno zmínit, že v archívu CHEVAK a.s. se nachází ještě třetí projekt (Obr. 33), a to firmy Ernst Justel z Ústí n. Labem z roku 1928, který měl pravděpodobně dále posílit dosavadní nedostatečné zdroje. Jímání bylo projektováno do oblasti severně od Skalné, do údolí s radioaktivními vývěry skupiny pramene Marie Z. Projekt však nebyl nikdy realizován. Osamocený jímací objekt cca 1 km severovýchodně od Skalné, zanesený v základní vodohospodářské mapě (Obr. 26) se nepodařilo v terénu dohledat.

V současné době je celý tento historický vodovod odpojen z důvodů nedostatečné kapacity i náročné údržby starých jímání i již zmíněné kontaminace větve pod Novým Světem.

O odpojení vodovodu se uvažovalo již od roku 1968 a realizováno bylo až počátkem 80. let 20. století. V současné době je Skalná napojena na dálkový „Nebanický“ vodovod a má postavenou i novou vodárnu, která stojí hned vedle vodárny historické. I přesto, že již tento historický vodovod neslouží jako zdroj vody pro Skalnou, k vyvedení odtoku severní větve rybníkem na Novém Světě (SK2/14) si místní obyvatelé pro vodu chodí dodnes.



Obrázek 33: Projekt třetího vodovodu z roku 1928 od firmy Ernst Justel (výřez celkové mapy). Tento projekt nebyl nikdy realizován. V mapě vyznačeno umístění nejstaršího vodovodu („Alte Rohrleitung“), nejspíše z 19. století.

Změřené fyzikální parametry a další údaje a tomto vodovodu se nachází v Příloze 1.

### **6.3 Prameny na terciéru SKR/9 A, B,C**

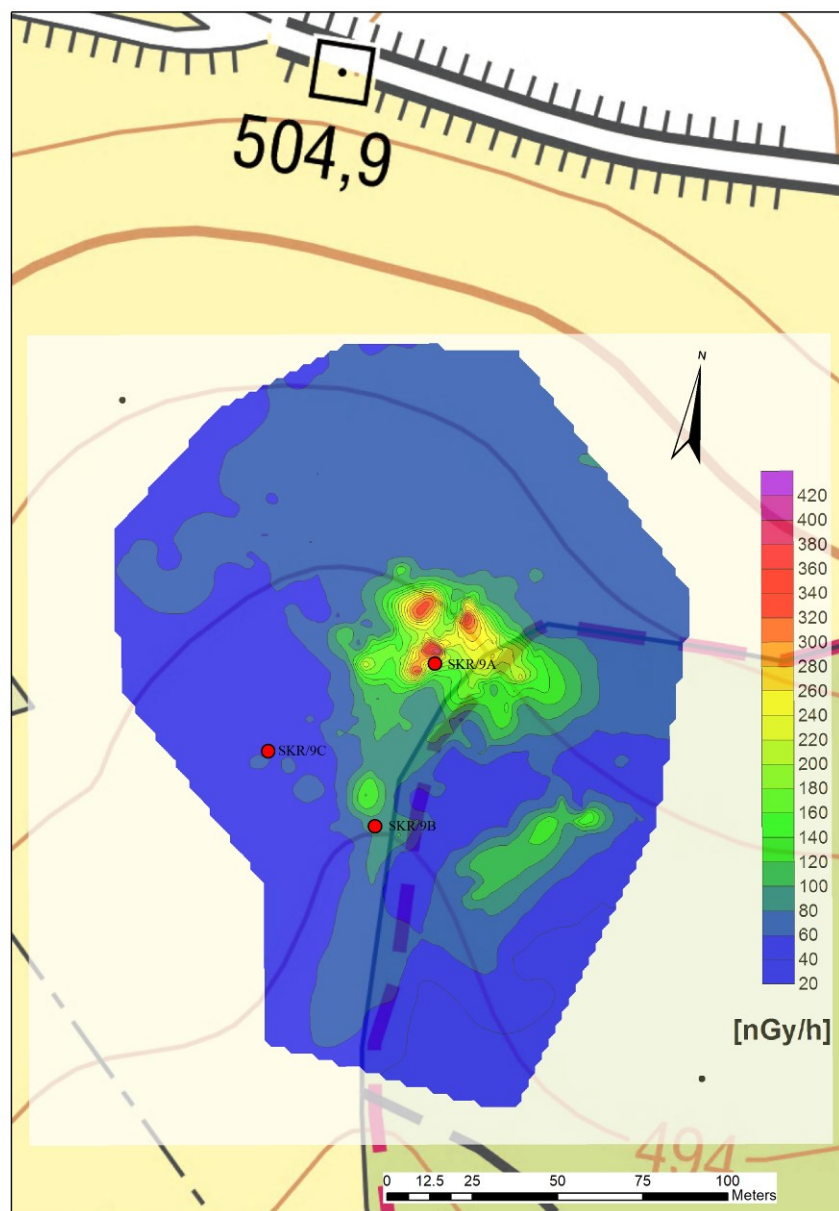
Překvapením byl výskyt klastru vývěřů radonových vod, nalezený při revizi výchozové části terciárního malého uranového ložiska Velký Luh (Plaček 1968, Obr 1973, Obr 1978). Ložisko bylo ověřeno množstvím vrtů, byly spočítány zásoby, které činí 50 – 650 tun uranu podle různých okrajových vzorků (cut-off), ale nebylo nikdy těženo.

Prameny se nachází v severozápadní části chebské pánve, přibližně 200 metrů od silnice z Velkého Luhu na Plesnou. Je to rozsáhlé prameniště s několika zdroji, zřetelně se prozrazujícími svojí zvýšenou gama aktivitou. Nejvýznamnější zdroje byly kódovány jako SKR/9A,B,C, později byly nalezeny a analyzovány i zdroje D a E. Nejaktivnější je pramen SKR/9A, který dosahuje aktivity 3115 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$  (Obr. 34). Určit průtok tohoto i dalších pramenů je velmi obtížné, protože se ihned vsakují do pokryvu. Jediný průtok se dal odhadnout u pramene SKR/9B, a to 0,006 l/min. Průtok je velice závislý na aktuálním hydrologickém režimu. Za vysokých stavů jsou prameny v nejvyšší kondici, s nejvyšší aktivitou vody. Za nízkých stavů zaklesávají. Při hydrologických minimech je možno vzorkovat jen nejprůtočnější jižní vývěř SKR/9C. Pokus o jeho prokopání byl však neúspěšný. Výkop skončil v bahnitých šedých jílech bez patrného soustředěnějšího přítoku. Na tomto prameništi byl pro vizualizaci tvaru prostorové distribuce radioaktivních vývěřů proveden i gamaspektrometrický průzkum přístrojem GT-32 po nepravidelných profilech s GPS stabilizací měřených bodů (Obr. 35). Bylo zjištěno, že radiometrická anomálie má svojí „mokrou“ (západní) část na louce podmáčené radioaktivní vodou i část „suchou“ (východní) v lese a části pastviny nad lesním výběžkem i severně od vývěru SKR/9A, vyvolanou nejspíše přímo výchozem uranem mineralizovaných hornin. Pole gama záření v „mokrém“ části anomálie je mozaikovitě s ostrými maximy v bezprostředním okolí vývěřů vod.





Obrázek 34: Rozsáhlé prameniště s radioaktivními vývěry na terciéru Foto: Š. Turnová 2017.



Obrázek 35: Mapa dávkového příkonu záření gama na území s klastrem vývěrů radonových vod na terciéru. Červenými body jsou vyznačeny pozice nejvýznamnějších objektů SKR9/A,B a C.

Důležité geologické informace podávají archívní výsledky průzkumných prací na uran z roku 1966 (Plaček 1968). Z hlubinného gama průzkumu dvou blízkých povrchových anomálií vyplývá, že aktivní horizont tvoří souvislou vrstvu o mocnosti až 3 metry, která laterálně i do hloubky vyznívá. V neaktivnějším místech byly vykopány tři průzkumné šachtice. Na anomálii 61-8-66 byla vyhloubena šachtice č. 1. Šachtice číslo 1 odhalila pouze 2,6 metru mocný terciární pokryv, zastoupený světlešedými kaolinickými jíly a fylitovými splachy

a v podloží byla naražena zvětralá svorovou rula se zvýšenými obsahu uranu (stanoven chemicky).

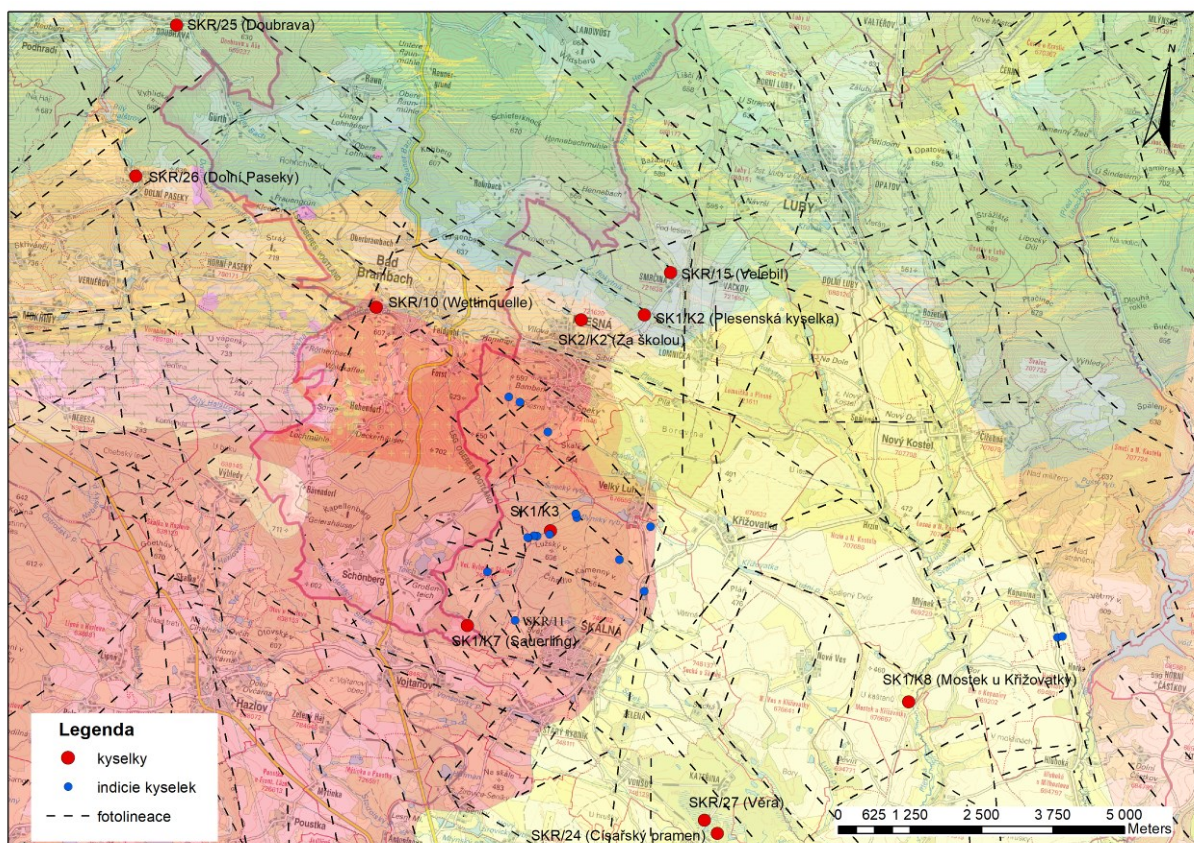
Anomálie 61 -7 -66, která je na stejném místě jako prameny SKR/9, byla ověřena dvěma šachticemi a to č.2 a č.5. Hloubka šachtice číslo 2 je 6,3 metru. Mocnost terciérního pokryvu je zde nižší než u šachtice číslo 1 a to pouze 2 metry. Pod vrstvou terciérních sedimentů, které jsou tvořeny písčitými jíly, se nachází zvětralé svorové ruly se shluky limonitizovaného křemene, nesoucí uranovou mineralizaci. Šachtici číslo 5 u anomálie 61 – 7 -66 nebylo možné dokopat. Důvodem byl značný přítok vody. Z geologické mapy (Plaček 1968) vyplývá vrtnými pracemi potvrzeného zlomu ssz směru. Z konstruovaných vrtných profilů je jasné, že zde překvapivé ruly tvoří i velkou část území krystalinika v podloží ložiska Velký Luh a představují zde zbytky obalu plutonu. Zásadní část U-ložiska Velký Luh je ve východní, zakleslé kře, v hloubkách cca 60 – 80 m. Západní část je relativně vyzvedlá, s minimálními mocnostmi terciérních sedimentů v prvních jednotkách metrů. Nalezené prameny jsou pravděpodobně dotovány vodou z popisovaného zlomu a představují tak vývěry na tektonicky vyzvedlém fragmentu malého uranového ložiska Velký Luh.

#### **6.4 Kyselky**

Kyselka je definována jako voda, obsah rozpuštěného CO<sub>2</sub> je větší než 1 gram/ litr.

Nálezy kyselek můžeme rozdělit na několik typů a to podle místa jejich výskytu: na granitu, na krystalinickém obalu a na terciéru (Obr. 36). Některé kyselky byly objeveny terénním vyhledáváním, ale některé byly pouze zrevidované. Protože jsou kyselky od studených radioaktivních pramenů velmi odlišné, byla jejich data soustředěna do samostatného souboru uvedeného v Příloze 2.





Obrázek 36: Mapa pozice kyserek na granitu, okolním krystaliniku i terciéru chebské pánve. Geologická mapa 1:50 000 převzata ze serveru ČGS (<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>), německá geologická mapa 1:50 000 pochází z LfULG v Drážďanech.

#### 6.4.1 Kyselky na granitu

Nejvýznamnější kyselkou na granitu je samozřejmě pramen Wettnquelle v Bad Brambachu, popsany podrobněji v předchozí pasáži o německé části území. Při naší návštěvě dne 14. 6. 2018 byl Haertlovým přístrojem měřen obsah  $\text{CO}_2$  ze vzorku odebraném v podzemí pitného pavilonu před dosycením  $\text{CO}_2$ . Bylo stanoveno 1645 mg/l.

Další ze známých kyserek v této oblasti je kyselka Schönberger Sauerling. Tato kyselka se nachází na česko – německých hranicích, jihozápadně od obce Skalsná, již na německém území. Schönberger Sauerling je známý od roku 1700 a od roku 1932 považován za zdroj pitné vody. Pramen je zachycen ve dřevěném lesním altánu a často navštěvován. Chuť vody je lehce nahořklá a železitá. Dosahuje druhé nejvyšší aktivity radonu ze všech námi změřených kyserek, a to 867 Bq/l.

V oblasti mezi Skalnou a Plesnou bylo objeveno 14 indicií kyselek (Obr. 36). Obvykle měly podoby kaluží či drobných bažinek s výrony nehořlavého plynu při proslápnutí botou. Nejvýznamnějším nově nalezeným objektem je kyselka SK1/K3, která byla objevena dne 14. 6. 2016. Vývěr SK1/K3 tvoří rozsáhlé prameniště v relativně plochém terénu, přibližně 1 km severně od Lužského vrchu nad lesní asfaltovou silnicí z Velkého Luhu do Skalné. Aktivita pramene SK1/K3 nebyla změřena, nebyl ani zjišťován konkrétní obsah CO<sub>2</sub>. Chuťový dojem z vody i výrony plynu jsou však jednoznačné. Mineralizovanější vody se vyskytují v severní části bažiny. Objekt by jistě zasluhoval další pozornost, kterou jsme mu z nedostatku času již nemohli věnovat.

Zajímavým objektem, na který jsme byli upozorněni p. Břicháčkem je vývěr železité vody, pramen Na Mattelbergu (SKR/11), nacházející se na louce, cca 1 km severozápadně od Skalné, v prodloužení přes pramen Pod Skalou. Vývěr tvoří první desítky metrů čtverečných rozlehlou plošší kupu železitých sintrů, tedy byl nejprve považován za kyselku. Z terénního stanovení vody z primárního přítoku však vyplývá obsah pouze 241 mg/l CO<sub>2</sub>. Dle EC je pramen nízce mineralizován, upoutá jeho zvýšená teplota, 12,9 – 13,8 °C.

#### **6.4.2 Kyselky v krystalinickém obalu**

Nejvýznamnějšími kyselkami na krystalinickém obalu jsou kyselky Za školou, Plesenská kyselka a kyselka v údolí Pstruhového potoka, kterou majitel nedalekého penzionu nazval „Velebil“, dle svého bratra, který hodlá vývěr upravit. Všechny tři tyto kyselky byly zmíněny v práci Kolářové a Myslila „Minerální vody západočeského kraje“ (1978) avšak ani jedna z těchto kyselek neměla současně pojmenování. Na obrázku je v této práci kyselka Za školou vyznačena číslem 3, Plesenská kyselka číslem 2 a Velebil číslem 5 (Obr. 37).





Obrázek 37: Mapa kyselek v okolí Plesné a Smrčiny. Mapa převzata z: Myslíl a Kolářová – Minerální vody západočeského kraje (1978).

Kyselka Za školou (SKR/K2) se nachází severně od obce Plesná. Tvoří pravostranný přítok do bezejmenného potoka, který se v obci Plesná vlévá do potoka Plesná. Je to podchycený a udržovaný pramen. Aktivita této kyselky je pouze 61 Bq/l při průtoku 6,34 l/min. množství  $\text{CO}_2$ , měřené pomocí Haertlova přístroje, při teplotě 8,7°C je 2199 mg/l (viz Příloha 1). Kyselka za školou je využívána obyvateli Plesné.

Další významná kyselka v této oblasti je Plesenská kyselka (SK1/K2), (Obr. 38). Plesenská kyselka se nachází na levé straně u silnice směrem z Plesné do Smrčiny. Je zachycena v betonové skruži s dobrým přístupem. Aktivita Plesenské kyselky je 28 Bq/l při průtoku 3,06 l/min. množství rozpuštěného  $\text{CO}_2$  je 2123 mg/l při teplotě 9,1°C a nezvykle nízké mineralizaci (EC okolo 80 uS/cm).



Obrázek 38: Plesenská kyselka. Foto: Š. Turnová 2018.

Ještě o něco severněji až za obcí Smrčina se nachází pramen Velebil (Obr. 39) (SKR/15).

Pramen Velebil byl revidován 15. 9. 2017, na tento pramen jsme byli upozornění. Nachází se na levé straně Pstruhového potoka, přibližně 200 metrů od silnice ze Smrčiny. Aktivita pramene Velebil je 40 Bq/l při průtoku odhadnutém na 3 l/min. Průtok při opakovaných revizích silně kolísá, maximální hodnota průtoku byla 14,7 l/min dne 11. 6. 2018. (Příloha 2). Množství rozpuštěného  $\text{CO}_2$  je 1596 mg/l při teplotě 10,4°C. U pramene Velebil byl odebrán vzorek na podrobný chemický rozbor, výsledky tohoto rozboru se nachází v kapitole 6.6 – chemický rozbor vod (Tabulka 2).





Obrázek 39: Pramen Velebil, levostranný přítok do Pstruhového potoka, Dobře je patrný velký objem železitých precipitátů. Foto: V. Goliáš 2017.

#### **6.4.3 Kyselky na terciéru**

Na terciéru chebské pánve byly revidovány pouze některé významné vývěry kyselek.

Pramen Mostek (SK1/K8) se nachází na pravém břehu potoka Plesná severně od obce Mostek. Podloží tohoto pramene je budováno pliocenními sedimenty svrchního písčito – jílovitého souvrství (Kolářová a Myslíl 1978). Množství rozpuštěného  $\text{CO}_2$  je oproti ostatní kyselkám nízké a to pouze 505 mg/l při teplotě 10,2°C. Aktivita pramene je pouze 7 Bq/l, konduktivita 288  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Pramen byl však negativně ovlivněn jistě dobře míněným, ale neodborným zásahem do jímání v letech 2012-2013 v rámci dotovaného projektu „Krajem živých vod II“. Zřejmě došlo k ucpání původní pažnice vrtu, takže zde aktuálně žádná kyselka nevyvěrá. Pramen by jistě zasloužil odbornou rekonstrukci.

V národní přírodní rezervaci SOOS se nacházejí hned dvě významné kyselky, jedna z nich je Císařský pramen a druhá je pramen Věra. Císařský pramen (Obr. 40) je středně mineralizovaná, železitá, sírano – uhličitá - chloridová kyselka. Teplota pramene byla

naměřena 17,2 °C dne 12. 6. 2018. Její aktivita byla max. 276 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ . Množství rozpuštěného  $\text{CO}_2$  stanovené terénně Haertlovým přístrojem bylo 2609 mg/l. Konduktivita pramene je 6900  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .



Obrázek 40: Císařský pramen v NPR SOOS. Foto: Š. Turnová 2018.

Druhým významným pramenem SOOSu je pramen Věra. Pramen Věra se nachází na konci naučné stezky skrze národní přírodní rezervaci SOOS. Tento pramen je znečištěn vodou z přilehlého rašeliniště. Aktivita pramene je 264 Bq/l, pH je 5,40, vodivost pouze 272  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , množství rozpuštěného  $\text{CO}_2$  je 2071 mg/l.

## 6.5 Chemický rozbor vod

Na tomto území bylo odebráno celkem 9 vzorků vod na chemické rozborů. 6 z 9 vzorků jsou málo mineralizované, studené vody. Teplota těchto vod se pohybuje v rozmezí 8 – 10°C. Podle analýz většina těchto vod náleží k molárnímu typu Ca – Na –  $\text{SO}_4$  s celkovou mineralizací do 150 mg/l, vody jsou slabě kyselé s konduktivitou do 250  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Vybočuje pouze zdroj SKR/9A, tedy radioaktivní pramen na terciéru. U něj dominují složky kontaminace ze solení silnice (NaCl) i zemědělství (dusičnany). Vypočítané molární typy vod jsou uvedeny v Tabulce 2.



Tabulka 2: Přehled chemických (molárních) typů vod série analyzovaných vzorků

vzorek	chemické typy vod
SK1/K7	Na - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
SKR/10	Na - Ca - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
SKR/15	Fe - Mg - HCO <sub>3</sub> - SO <sub>4</sub>
SKR/3	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
SK1/6B	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
SKR/9A	Na - Ca - Cl - NO <sub>3</sub>
SK2/5	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
SKR/18	Ca - Na - SO <sub>4</sub>
SK2/1	Ca - Na - SO <sub>4</sub>

Samostatnou skupinou co se týče chemického složení a mineralizace vod, jsou odebrané vzorky kyselek (Schönberger Sauerling, Wettingquelle a Velebil). Nejvíce mineralizovaný je Schönberger Sauerling, který má celkovou mineralizaci 3148 mg/l. Ve složení na první pohled zaujme nezvykle vysoký obsah lithia 2,6 mg/l i nedisociovaného SiO<sub>2</sub> ve výši 68 mg/l. Druhým nejvíce mineralizovaným vzorkem je Wettingquelle s CM 1443 mg/l. Pramen Velebil obsahuje vysoké množství Fe (32 mg/l), Mg převažuje molárně nad Ca.

Podrobnější výsledky změřených kationtů a aniontů všech vzorků jsou uvedeny v Tabulce 3. Ve spodní části Tabulky 3 jsou souhrnně uvedené radiologické parametry zkoumaných vod, tedy kromě <sup>222</sup>Rn i obsahy <sup>226</sup>Ra a uranu.

Tabulka 3: Chemický rozbor vybraných vzorků vod

vzorek	SK1/K7 Sauerling	SKR/10 Wettnquelle	SKR/15 Velebil	SKR/3 Marie Z	SK1/6b Břetislav Radonka	SKR/9a	SK2/5 Nad Křížkem	SKR/18	SK2/1 Pod Skalou
<b>kationty (mg/l)</b>									
Al	<0,05	0,213	<0,05	0,235	<0,05	<0,05	0,516	<0,05	0,202
Ba	0,006	0,011	0,02	0,003	0,012	0,092	0,019	0,011	0,015
Ca	31,3	120	10	14,1	15	6,52	8,08	13,2	9,16
Cu	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Fe	13,5	6,15	31,5	0,12	0,05	0,76	0,08	0,35	0,083
K	17,2	8,36	2,61	2,25	2,92	4,84	1,48	1,45	1,68
Li	2,64	0,557	0,027	0,007	0,004	<0,002	0,019	0,026	<0,002
Mg	23,1	24,7	8,13	2,15	3,07	1,5	1,43	1,76	1,87
Mn	0,321	0,406	0,766	0,034	0,025	0,053	0,028	0,551	0,03
Na	692	184	9,48	6,99	7,02	21,3	4,2	10,9	7,06
Pb	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Sr	0,12	0,527	0,065	0,078	0,061	0,054	0,057	0,036	0,04
Zn	0,023	0,02	0,065	0,006	0,161	0,025	0,056	0,057	0,06
<b>suma kationtů</b>	<b>780,2</b>	<b>344,9</b>	<b>62,7</b>	<b>26,0</b>	<b>28,3</b>	<b>35,1</b>	<b>16,0</b>	<b>28,3</b>	<b>20,2</b>
<b>Anionty (mg/l)</b>									
F <sup>-</sup>	2,22	2,22	<0,2	0,4	0,22	<0,2	0,44	0,24	0,26
Cl <sup>-</sup>	146	78,8	8,66	2,84	3,27	32,9	3,17	6,79	4,42
Br <sup>-</sup>	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	809	222	29,9	58,6	64,7	3,42	35,5	53,1	28,9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	2,4	2	1,54	0,49	1,09	42,7	<0,2	0,42	10,1
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4
AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	0,369	0,033	0,033	0,017	0,026	0,022	0,022	0,041	<0,05
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1340	753	90	4,58	4,58	12,2	1,53	16,8	<d.l.
<b>suma aniontů</b>	<b>2300,0</b>	<b>1058,1</b>	<b>130,1</b>	<b>66,9</b>	<b>73,9</b>	<b>91,2</b>	<b>40,7</b>	<b>77,4</b>	<b>43,68</b>
<b>nedisoc. - SiO<sub>2</sub></b>	<b>68,3</b>	<b>40,0</b>	<b>43,7</b>	<b>20,8</b>	<b>23,3</b>	<b>27,6</b>	<b>16,0</b>	<b>36,0</b>	<b>26,62</b>
<b>radioaktivní součásti</b>									
<sup>222</sup> Rn [Bq/l]	576 - 867	24750	23 - 40	3983 - 5806	11431 - 13138	1790 - 3115	3006 - 4048	7454 - 7752	4260 - 7950
<sup>226</sup> Ra [Bq/l]	1,03	2,58	0,14	0,385	1,06	n.a.	n.a.	2,83	0,89
U [mg/l]	0,0015	0,0021	0,0001	0,0154	0,022	0,002	0,0272	0,0137	<0,3
<b>celková mineralizace</b>	<b>3148</b>	<b>1443</b>	<b>236</b>	<b>114</b>	<b>126</b>	<b>154</b>	<b>73</b>	<b>142</b>	<b>90</b>

## 6.6 Uran a radium ve vodách

Obsahy rozpuštěného uranu lze v některých případech označit za zvýšené. Nejvíce uranu obsahoval pramen SK2/5 – Nad Křížkem, a to 27 ug/l, jen o málo méně, 22 ug/l U obsahuje pramen Břetislav.

Nejvíce radia ( $^{226}\text{Ra}$ ) obsahovala voda z vrtu SKR/18a to 2,83 Bq/l, podobně vysokou aktivitu Ra, 2,58 Bq/l, má i lázeňský zdroj Wettingquelle . V Tabulce 3 jsou uvedené hodnoty změřeného radia, uranu a radonu.

## 7 Diskuze

Radioaktivní vody v oblasti smrčinského masivu zkoumala již před 60. lety Dr. Marie Zukriegelová. Důvodem zkoumání byl celkový průzkum Chebské pánve. Dr. Zukriegelová se zabývala oblastí severně od Skalné (viz Obr.5). Naměřila zde hodnoty radonu od 231 až po 578 MJ (1MJ = 13,5 Bq/l), což odpovídá hodnotě 3118 až 7803 Bq/l  $^{222}\text{Rn}$ . Nejvyšší námi naměřená hodnota pramene Marie Z byla 5806 Bq/l. U pramene SKR/1 byla naměřená aktivita 6838 Bq/l, ale ani jeden z těchto pramenů nedosahoval hodnot, které zde naměřila Zukriegelová. Čím to je způsobené se můžeme pouze domnívat, je možné, že to může být způsobeno změnou přírodních vlivů či rozdílnou standardizací.

Dle Chlupáčové a kol. (1998) je typ G1Sm, ve srovnání s průměrným granitem, thoriem velice chudý, kdežto ostatní typy mají thoria více. Tento typ má uranu více než thoria, je tedy „relativně“ uranový. Naproti tomu typ G1 je mírně obohacen thoriem i uranem, G1S je sice na uran bohatší, ale je chudší na thorium. Na typu G1Sm je nejvyšší podíl nalezených radioaktivních pramenů. Méně významné prameny mohou být vázány na tento typ hornin (granit), to by se dalo potvrdit i několika předchozími výzkumy v jiných oblastech České republiky (krkonošsko – jizerské krystalinikum (Hrušková, 2013), jizerská ortorula (Černík, 2017), tanvaldský granit (Kohn 2015)). Významnější prameny jsou vázány jak na typ horniny, důležité je však rovněž na tektonické porušení horniny.

Dalším zajímavým výsledkem je chemický rozbor vod (Tabulka 3), konkrétně pramene Schönberger Sauerling. Tato kyselka se nachází na biotiticko muskovitické žule typu G1S. tento pramen je velice bohatý na mikroelementy. Mezi nejvýznamněji zvýšené mikroelementy v prameni Schönberger Sauerling je lithium, které je zde zvýšené oproti ostatním vzorkům vod několikanásobně. Hodnota lithia má hodnotu 2,64 mg/l. ostatní vzorky mají hodnoty lithia od <0,002 (SK2/1, SKR/9A) do 0,557 mg/l (SKR/10). Dalším významně zvýšeným prvkem je zde draslík, jeho hodnota je 17,2 mg/l. Hodnoty ostatních vzorků se pohybují od 1,45 (SKR/18) do 8,36 mg/l (SKR/10).

V průběhu terénních prací bylo odebráno celkem 117 vzorků na měření aktivity. Tyto vzorky byly odebírány na smrčinském granitu, avšak až později bylo přesně rozděleno, na které typy hornin jsou radioaktivní vody přesně vázané (Tabulka 4). Zcela jasně se tím potvrzuje vazby neaktivnějších pramenů na typ granitu G1Sm. Zajímavé je, že prameny na terciéru mají medián hodnot aktivity vyšší než prameny na okolním krystaliniku. Je to zřejmě způsobeno protolitem sedimentů, tedy opět granitem.

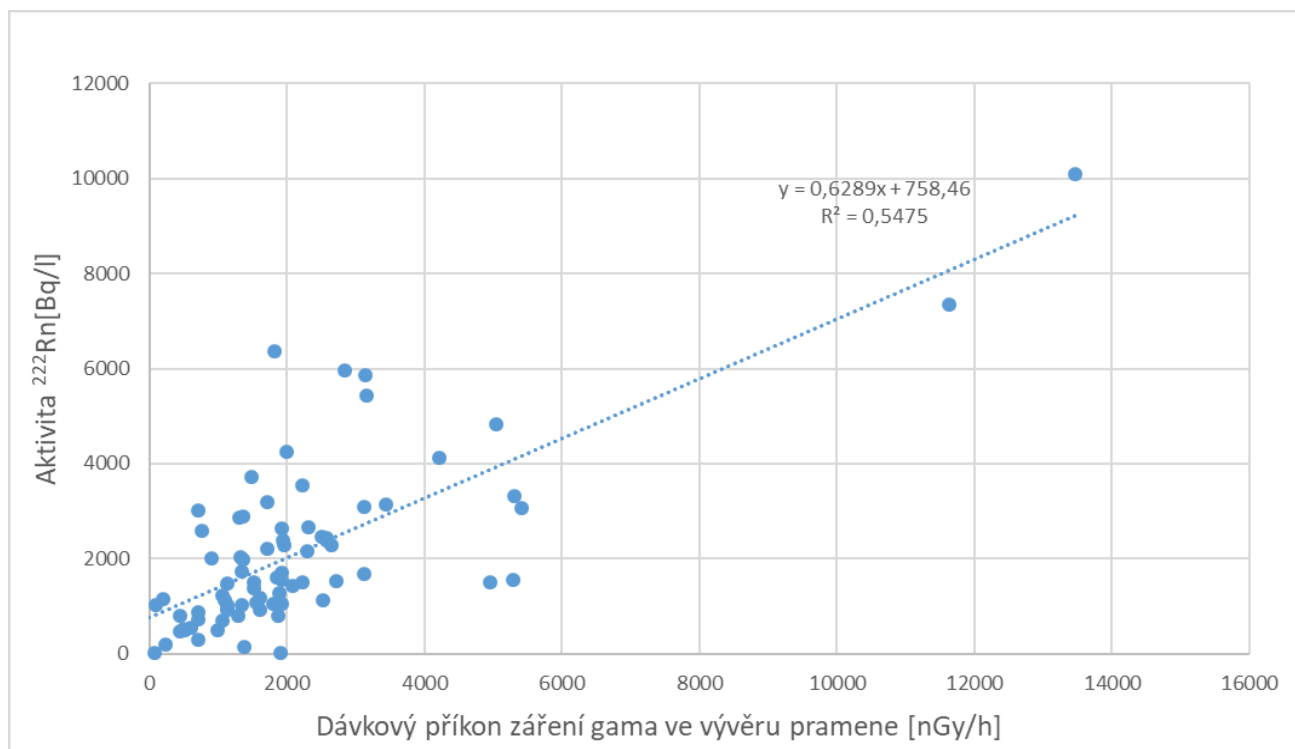
Tabulka 4: Statistické zhodnocení radioaktivity vod na smrčinském masivu

typy hornin	G1Sm (Muskovitická žula až granodiorit)	G1S (Biotiticko muskovitická žula)	terciérní sedimenty	krystalinický obal
počet měřených pramenů:	85	10	10	11
průměrná aktivita měřených pramenů [Bq/l]:	2407	1084,7	1066,6	283,4
minimální aktivita měřených pramenů [Bq/l]:	14	14	7	0
maximální aktivita měřených pramenů [Bq/l]:	24750	4242	3115	1385
medián naměřených pramenů:	1350	643,5	497,5	110

Vztah mezi aktivitou gama u pramene a objemovou aktivitou  $^{222}\text{Rn}$  je na Obrázku 41. V případě tohoto průzkumného území vychází relativně dobrá korelace objemové aktivity a gama aktivity ve vývěru. Nejvyšší hodnoty na grafu (Obr. 41) patří samozřejmě prameni Břetislav.

Další otázkou je korelace aktivity a průtoku. U pramene Břetislav s větším průtokem aktivita radonu klesá, což je nejčastější případ závislosti i u jiných zdrojů (srov. např. s Hruškovou 2013, či Černíkem 2017). U pramene „Marie Z“ ovšem nemá průtok žádný vliv na aktivitu, což je přinejmenším velmi neobvyklé a není to snadné vysvětlit.





Obrázek 41: Korelace mezi aktivitou  $^{222}\text{Rn}$  zdroje a dávkovým příkonem záření gama, měřeným ve vývěru pramene.

## 8 Závěr

Průzkum zaměřený na vyhledávání radioaktivních vod, jež proběhl na východní části smrčinského granitu v letech 2016 – 2018 odhalil či revidoval celkem 48 vodních zdrojů překračujících hodnotu 1500 Bq/l, což je dle zákona 164/2001 Sb. hranice pro radioaktivní (radonové) minerální vody využitelné k lázeňským účelům. Na tomto území bylo objeveno několik velice významných pramenů. Největším objevem na území smrčinského granitu je nález pramene Břetislav – Radonka. Tento pramen s aktivitou až 13500 Bq/l se dá považovat za nejradioaktivnější povrchový vývěr v České republice. Co se týče všech pramenů patří svojí aktivitou hned na druhé místo za hlubinně zachycený pramen Agricola v Jáchymově, který je nejsilnější v celé České republice. Pramen Břetislav – Radonka má průtok okolo 2,5 l/min. Podchycený pramen je již v místě velmi oblíben, hojně navštěvován i užíván pro léčebné účely.

Nejvíce aktivní pramen celého zkoumaného území se nachází již na německém území lázně Bad Brambach. Je to dlouho lázeňsky využívaný pramen Wetinquelle s aktivitou až 24500 Bq/l.

Další významný pramen na smrčinském granitu, je nově nalezený pramen Pod skalou, který je nejaktivnějším přítokem do starého vodovodu ve Skalné. Pramen Pod skalou má aktivitu 7950 Bq/l.

Byly zde nalezeny i radioaktivní prameny na terciárním pokryvu. Aktivita těchto pramenů byla 3115 Bq/l. Na smrčinském granitu, na krystaliniku i na terciéru se nachází kyselky, které ale již byly objeveny.

Vyhledávací průzkum na smrčinském granitu navázal na předchozí průzkumy jiných oblastí. Tímto průzkumem byl potvrzen pravděpodobný výskyt radioaktivních vod na území smrčinského granitu.

## Seznam použité literatury:

- AMBROŽ V., 1958; Chebská pánev – Čas. mineral. geol., III., 2, 178 – 190. Praha
- AMBROŽ V., Kolářová M., Laboutka M., 1961; Hydrogeologický výzkum Chebské pánve. (Závěrečná zpráva za léta 1956 – 1960) – Geofond, Praha
- BURDA J. [et al.], 1998; Vysvětlivky k souboru geologických a ekologických účelových map přírodních zdrojů v měřítku 1:50 000 Listy 11-13 Hazlov a 11-14 Cheb; Český geologický ústav Praha, vydání 1., 75 stran, ISBN 80-7075-263-7
- ČERNÍK Tomáš 2017; Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti Chrastava – Bogatynia; MS, Diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká Fakulta, Univerzita Karlova, 63 stran, 1 příloha
- HAAKE R., 1972; Zur Altersstellung granitoider Gesteine im Erzgebirge. – Geologie (Berlin) 21, 646 – 676.
- HECHT L., Vigneresse J.L., Morteani G., 1997; Constraints on the origin of zonation of the granite complexes in the Fichtelgebirge (Germany and Czech Republic): evidence from a gravity and geochemical study; Geol Rundsch (1997) 86, Suppl.:S93 – S109
- HEJTMAN Bohuslav, 1984; Petrografie vyvřelých hornin Českého masivu, část 1. Intruzivní vyvřelé horniny z. a sz. Čech; Univerzita Karlova Praha
- HNÍZDO E., 1992, Zkrácená zpráva o výsledcích vrtného průzkumu na uran na úseku Skalná – Plesná, Geofond, Praha
- HRUŠKOVÁ Lenka, 2013; Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti Lázně Libverda –Świeradów – Zdrój; MS, Diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká Fakulta, Univerzita Karlova, 68 stran, 30 příloh
- HYNIE Oto, 1949; Geologie minerálních zřidel v Čechách a na Moravě, St.geol.úst.ČR, Praha, 1. vydání.
- CHLUPÁČ Ivo, [et al.]. 2011; Geologická minulost České republiky; Vyd. 2., opr – Praha: Academia, 2011. – 436 str; ISBN 978–200-1961-5

CHLUPÁČOVÁ M., Štemprok M., Gnojek I., 1998; Distribution of Th, U and K and petrophysical properties of granites in the Czech part of the Smrčiny (Fichtelgebirge) pluton; Věstník Českého geologického ústavu 73, 4, 287-298

KOHN Pavel 2015; Prameny radioaktivních minerálních vod v oblasti Tanvaldského granitu. MS, Diplomová práce, Ústav geochemie, mineralogie a nerostných zdrojů, Přírodovědecká fakulta, Univerzita Karlova, 34 stran, 2 přílohy

KOCH Ulrich, Herbert Detlef, Vossberg Manuela, Heinicke Jens, 2005; Auswirkungen der Fassungssanierung der Wetтинquelle, Bad Brambach, auf die Altesstruktur des Mineralwassers. Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 2, 102-113.

KOLÁŘOVÁ Margarita, 1965; Hydrogeologie chebské pánve, Sborník geologických věd - Ústř. Úst. geol v Nakladatelství Československé akademie věd, Praha

KOLÁŘOVÁ M., Dvořák J., 1975, Katastr minerálních vod západočeského kraje. Ústřední ústav geologický, Praha.

KOLÁŘOVÁ M., Myslík V., 1978, Minerální vody Západočeského kraje, Ústřední ústav geologický, Praha

KRAJČA Jaromil 1977; Plyny v podzemních vodách (Jejich vlastnosti, průzkum a využití): 261 – 265, SNTL

LANGE H., Tischendorf G., Pälchen W., Klemm I., Ossenkopf W., 1972; Zur Petrographie und Geochemie der Granite des Erzgebirges I., Geologie (Berlin) 21, 457 – 493

LEPKA František et al., 1959; Závěrečná zpráva o orientačním geologickém průzkumu chebské pánve na radioaktivní suroviny. – MS archiv DIAMO., SUL Příbram

MÍSAŘ Zdeněk, [et al]. 1983; Geologie ČSSR Český masív; státní nakladatelství v Praze, (1. vydání)

OBR František 1973; Exogenní uranové zrudnění v západočeském teriéru. MS Kandidátská disertační práce. UK, PřF. Praha. 148s.

OBR František 1978; Exogenní uranové zrudnění v západočeském teriéru. Geol. A Hydrometal. uranu. 2/3. Stráž p. Ralskem. 3-40.

PITTER Pavel 2009; Hydrochemie (4. vydání); 264 – 274, VŠCHT, Praha

PLAČEK Zvonko, 1968; Závěrečná zpráva Chebské pánve, archiv DIAMO, SUL Příbram.



RICHTER P., Stettner G., 1979; Geochemische und petrographische Untersuchungen der Fichtelgebirgsgranite, Geol. Bavarica 78, 1-133.

ŠANTRŮČEK P. 1957a, Původ mineralizace Františkových lázní z hlediska geologického, Věst. Ústř. Úst. geol., XXXII, 344-353, Praha.

ŠANTRŮČEK P., 1957b, Stratigraficko – litologické poměry severní části Chebské pánve – Čas. mineral. geol., II,4. Praha.

ŠANTRŮČEK P., 1959, Nové poznatky o geologii širšího okolí Františkových Lázní - Věst. Ústř. Úst. geol., XXXIV.

ŠKVOR V., 1974, Geology of the Czech part of the Krušné hory and Smrčiny, Knih Ústř. Úst. Geol 48, Czech Geological Survey, Prague: pp 1- 120 (in Czech).

ŠTEMPROK M. 1992; The geochemistry of Czechoslovak part of the Smrčiny/Fichtelgebirge granite pluton – Čas. Mineral. Geol., 37,1, 1 – 19, Praha

VÁCL J. 1979, Geologická stavba chebské pánve a jejího okolí – Geol. Průzk. 8, 233-235

VEJNAR Z., 1960; Der tschechoslowakische Teil des fichtelgebirgischen Granitmassiv. – Sbor. Ústř. Úst. geol. 26, odd. geol. 1, 217 – 268

WEIDIG M. 1912; Radioaktive wässer in Sachsen, IV.vydání

ZEMAN Lubomír. Průvodce po významných lázeňských místech v Karlovarském kraji. Karlovy Vary: Aa Group s. r. o., 2015. 97 s. ISBN 978-80-88017-22-6

ZOUBEK V. et al., 1963; Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1: 200 000, list Karlovy Vary, Ústř. Úst. geol. Praha

ZUKRIEGELOVÁ Marie, 1961; Radioaktivita podzemních vod, Hydrogeologický výzkum Chebské pánve, in: Hydrogeologický výzkum Chebské pánve (Závěrečná zpráva za léta 1956 – 1960), Ambrož, Kolářová, Laboutka

Internetové zdroje:

<http://geofyzika.upol.cz/metody/gamaspektrometrie-a-monitoring>

<https://www.ig.cas.cz/vyzkum-a-vyuka/observatore/lokalni-seismicka-sit-webnet/skalna/>

[www.heis.vuv.cz](http://www.heis.vuv.cz)

<http://mapy.geology.cz/arcgis/services>

<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/810-umela-radioaktivita>

<https://jachymov-joachimsthal.cz>

<http://www.zelenezpravy.cz/prirodni-radioaktivita/>